



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

- + *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.
- + *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.
- + *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.
- + *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter <http://books.google.com> durchsuchen.







GRUNDZÜGE
DER
EXPERIMENTALPHYSIK

MIT RÜCKSICHT AUF CHEMIE UND PHARMACIE,

ZUM GEBRAUCHE

XXI

VORLESUNGEN UND ZUM SELBSTUNTERRICHTE,

VON

Dr. H. BUFF,

PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT ZU GIESSEN.

MIT ZAHLREICHEN HOLZSCHNITTEN UND AUSGEFÜHRTEN TAFELN.

HEIDELBERG 1853.

AKADEM. VERLAGSHANDLUNG VON C. F. WINTER.

• 196. a. 6.



Druck von H. L. Bröner in Frankfurt a. M.

12. 11. 1871.

Vorrede.

Ungeachtet wir in deutscher Sprache eine ziemlich grosse Anzahl zum Theil vortrefflicher Lehrbücher der Physik besitzen, so fehlte doch bisher ein Werk, in welchem die besonderen Bedürfnisse des Chemikers, Pharmaceuten und Arztes eine mehr als untergeordnete Berücksichtigung gefunden hätten. Diese Lücke in unserer naturwissenschaftlichen Literatur, welche dem Verfasser bei seinen Vorträgen an der hiesigen Universität sehr häufig fühlbar geworden ist, gab die erste Veranlassung zur Herausgabe des vorliegenden Werkes. Dem aufmerksamen Leser kann übrigens nicht entgehen, dass, obschon diejenigen Zweige der Physik, welche als vorbereitend für das Studium der Chemie die unentbehrlichsten sind, mit besonderer Ausführlichkeit behandelt wurden, darum doch andere Zweige im Verhältniss zu ihrer Bedeutung nicht verkürzt worden sind, und dass auch die mathematische Begründung, so weit in einem Buche, das seiner Bestimmung nach wesentlich ein elementares sein soll, erwartet werden kann, gebührend berücksichtigt worden ist.

Die bis in die neueste Zeit hin so rasche Fortentwicklung fast aller Zweige der Physik machten in den

Lehren des Magnetismus, der Electricität und des Lichtes wiederholte Umarbeitungen nöthig, und erforderten zeitraubendere experimentelle Vorstudien, als anfangs berechnet worden war. Das endliche Erscheinen des Werkes ist dadurch verzögert worden; doch vielleicht nicht ohne verhältnissmäßige Erhöhung seines inneren Werthes. Zur Vergrößerung dieses letzteren hat nach der Ueberzeugung des Verfassers noch der Umstand beigetragen, dass es ihm gelungen ist, für die Bearbeitung des Abschnittes: Theorie der Musik, Seite 530, so wie der zweiten Abtheilung der Optik, Seite 610, die Kräfte eines mit diesen Theilen der Experimentalphysik auf's gründlichste vertrauten Gelehrten, seines hochgeschätzten Collegen, Herrn Professor Zamminer zu gewinnen.

Giessen im December 1852.

Inhalt.

	Seite
Einleitung	3
I. Von den Körpern überhaupt	4
Allgemeine Eigenschaften der Körper, Naturkräfte	6
Vom Messen	10
Dichtigkeit, specifisches Gewicht	12
Von den Körperzuständen	13
II. Von der Wärme und ihrem Einflusse auf die Beschaffenheit der Körper	18
Quecksilberthermometer	24
Mass der Ausdehnung der Körper durch die Wärme	26
Feste Körper	26
Tropfbare Flüssigkeiten	29
Ausdehnsame Flüssigkeiten	32
Von der Wärmecapacität der Körper	34
Von der gebundenen Wärme	38
Von der specifischen Wärme der Atome	42
III. Von den bewegenden Kräften im Allgemeinen und insbesondere von der Schwerkraft	43
Bewegungsgrösse; Stoss unelastischer Körper	54
Vom Gleichgewichte	55
Vom Reibungswiderstande	66
Von den Trägheitsmomenten	69
Vom Pendel	71
Von der Wage	76
Bewegungen in krummer Linie	82
Excentrischer Stoss	85

	Seite
IV. Von den physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeiten, insbesondere der schweren tropfbaren Flüssigkeiten	85
Verhalten der Flüssigkeiten gegen darin eingetauchte feste Körper	92
Bestimmung des specifischen Gewichtes fester und flüssiger Körper auf hydrostatischem Wege	95
Von der Capillarität oder den Wirkungen der Haarröhrchenkraft	106
V. Von den physikalischen Eigenschaften der Luft und der gasförmigen Körper überhaupt	114
Specifisches Gewicht der Gase	129
Höhenmessen mit dem Barometer	134
VI. Bewegungsgesetze flüssiger Körper	137
Ausfluss tropfbarer Flüssigkeiten aus Behältern	137
Ausfluss gasförmiger Körper	146
Hydraulische und pneumatische Apparate	149
Diffusion und Absorption der Gase	156
VII. Von den Dämpfen	162
Dämpfe im luftleeren Raume	163
Dämpfe gemengt mit Gasen; Verdunstung	169
Specifisches Gewicht der Dämpfe	172
Der Wasserdampf als Betriebskraft	177
Gebundene Wärme der Dämpfe	178
Hygrometrie	185
VIII. Von den magnetischen und electricen Kräften	192
Erscheinungen und Gesetze der magnetischen Anziehung und Abstossung	192
Erscheinungen der electricen Anziehung und Abstossung	210
Nähere Betrachtung der Electricitäts-Erzeugung durch Reibung	223
Electricirmaschine	225
Leidner Flasche. Verstärkte Electricität	230
Condensator	234
Electrophor	236
Gesetze der electricen Anziehungen und Abstossungen	238
Vertheilung freier Electricität im Ruhezustande	242
Ueber Luft-Electricität und Gewitterableiter	252
Berührungs-Electricität	259
Von der Electricität im Bewegungszustande	281
Electromagnetische Messwerkzeuge; Galvanometer	289


	Seite
Ueber das Mass magnetischer Kräfte	302
Die electrochemische Zersetzung	313
Von dem Leitungswiderstande und dem Ohm'schen Gesetze	342
Wärmeentwicklung durch electriche Ströme . . .	353
Thermoelectricität	369
Electromagnetismus	379
Electrodynamik	410
Electrodynamische Vertheilung (Induction) . . .	419
Von der thierischen Electricität	443
Ueber den magnetischen Zustand aller Körper . .	450
IX. Von den Wasserwellen	455
X. Von der Elasticität und der Wellenbewegung in elasti-	
schen Körpern	463
Stoss elastischer Körper	476
Fortpflanzung der Bewegung in einem gleichartig ela-	
stischen Mittel; Wellenbewegung	479
Luftwellen	503
XI. Erzeugung und Fortpflanzung des Schalls	510
Theorie der Musik und der musikalischen Instrumente	530
Das Gehörorgan	543
XII. Von dem Lichte.	
Erste Abtheilung	544
Vom menschlichen Auge und den dioptrischen Instru-	
menten	589
Zweite Abtheilung	610
Polarisation des Lichtes	623
Doppelte Brechung	638
Chemische Wirkungen des Lichtes	660
XIII. Von der strahlenden Wärme	662

Inhalt des Anhangs.

Mit besonderer Bezeichnung der Seiten.

	Seite
Tafeln zum Gebrauche des Physikers und Chemikers	
I. Vergleichung der gebräuchlichsten Maasse	1
II. Vergleichung der gebräuchlichsten Gewichte	1
III. Specifische Gewichte	1
IV. Ausdehnung der Körper durch die Wärme	1
V. Specifische Wärme der Körper	1
VI. Specifische Wärme der Atome	2
VII. Schmelzpunkte	2
VIII. Siedpunkte	2
IX. Kälte - Mischungen	2
X. Reduction der Aräometergrade von Beaumé, Cartier und Beck auf specifische Gewichte	2
XI. Tafeln zur Alkoholometrie	2
XII. Bestimmung des Gehaltes einiger verdünnten Säuren und Al- kallen aus ihrem specifischen Gewichte	3
XIII. Absorptionsvermögen fester und flüssiger Körper, bei Berüh- rung mit Gasen	3
XIV. Siedpunct des reinen Wassers bei verschiedenen Barometer- ständen	4
XV. Grösste Spannkräfte des Wasserdampfs	4
XVI. Wassergehalt der atmosphärischen Luft in Milliontheilen des Raumes	4
XVII. Brechungsverhältnisse einiger Glasarten und Flüssigkeiten für die den dunklen Linien B bis H in Spectrum entspre- chenden Strahlen	4
XVIII. Brechungsverhältnisse für Strahlen von mittlerer Brechbarkeit	4
XIX. Brechungsverhältnisse und absolutes Brechungsvermögen eini- ger Gase bei 0° und 0,76 ^{mm}	4
Register	4

Grundriss
der
Experimentalphysik.





Einleitung.

1. Die Erforschung der Naturerscheinungen, die Darlegung der Bedingungen ihres Auftretens und die Erklärung ihrer Ursachen bildet den Gegenstand der Naturlehre oder der Physik.

Mit dem Worte Natur, Körperwelt, bezeichnet man den Inbegriff aller sinnlichen Wahrnehmungen.

Jeder Vorgang oder jede Veränderung in der Körperwelt wird eine Naturerscheinung (Phänomen) genannt.

2. Eine Naturerscheinung nach allen ihren Beziehungen bestimmt auffassen und erkennen, heisst dieselbe beobachten.

Was uns von den Erscheinungen in der Natur bekannt ist, gründet sich auf Beobachtungen, die theils im Leben unmittelbar aufgefasst worden, theils aus absichtlich angestellten Versuchen oder Experimenten (daher Experimentalphysik) hervorgegangen sind.

Das Geschäft des Naturforschers besteht darin, diese Beobachtungen zu sammeln und zu vervielfältigen, sie zu ordnen und in Verbindung zu bringen. Sie dienen dem Verstande als Anhaltspuncte, als Hülfsmittel zu Schlüssen über die Bedingungen der Wiederkehr und über die Ursachen der um uns vorgehenden Veränderungen. Indem die Vorstellungen (Ideen), zu welchen sie leiten, durch neue Beobachtungen, welche die Aussprüche passend angeordneter Versuche seyn können, geprüft, verbessert und erweitert werden, gelangt man allmählig zu einer immer deutlicheren Erkenntniss des wahren Zusammenhangs und der letzten Gründe der Naturerscheinungen.

3. Die Bedingungen der Wiederkehr einer Naturerscheinung, in einem Begriffe zusammengefasst, nennt man deren Gesetz und insofern diese Bedingungen nur aus Beobachtungen, Erfahrungen abgeleitet werden können, Erfahrungsgesetz.

4. Wenn das Gesetz einer Naturerscheinung auch einer ganzen Reihe von Erscheinungen die richtige Schlüsse auf seine letzte Ursache zugeführt ist, so sagt man, dieselben seyen erklärt.

Wenn die Vorstellungen, welche einer solchen Erklärung zu Grunde liegen, den Erscheinungen, die klären sollen, durchaus angemessen sind, wenn durch keine Erfahrung, durch keine Thatsache ausgesprochen wird, so gebührt ihnen der Name einer Theorie.

Lässt sich das Gesetz einer Erscheinung aus der Reihe rückwärts, als einfache und nothwendige Folgen ableiten, so dürfen wir dasselbe als den wahren Grund für die Bedingungen der Wiederkehr dieser Erscheinung betrachten; es ist ein Naturgesetz.

Theorien, deren Richtigkeit noch zweifelhaft scheint, welche z. B. nur eine einzige oder doch einige Beobachtungen zu ihrer Stütze haben, werden Hypothesen genannt.

Das dem menschlichen Verstande eigenthümliche Bestreben sich von den Vorgängen in der Natur Rechenschaft zu geben führt häufig zu Hypothesen, die bei fortgesetztem gründlichem Studium wieder verworfen werden müssen. Eine Vorstellung entfernt sich um so weiter von dem Gebiete des Hypothesis, je grösser die Zahl der Erscheinungen ist, zu deren Erklärung uns den Schlüssel liefert.

Eine Theorie, wenn gleich sie die wahre Ursache einer Reihe von Erscheinungen zu enthalten scheint, ist dennoch unzureichend, um von andern verwandten Erscheinungen ungezwungene Erklärung zu geben. Hierdurch ist nun aber bewiesen, dass diese Theorie noch unvollkommen, nicht aber unrichtig ist. Als falsch aber und als verwerflich muss die Theorie betrachtet werden, wenn derselben auch nur eine wohlbe gründete Thatsache unbedingt widerspricht.

I. Von den Körpern überhaupt.

5. Alles, was einen begränzten Raum selbst ausfüllt, oder was Ausdehnung und Undurchdringlichkeit besitzt, heisst Körper. Der Raum selbst, welchen die Gränzen eines Körpers einschliessen, heisst sein Inhalt (Volumen).

Jeder Körper, den wir wahrnehmen können, besitzt Grösse, Gestalt und erstreckt sich nach allen drei Richtungen; er hat Ausdehnung. Jeder Körper verlässt freiwillig den Raum, den er einnimmt, noch gestattet er andern Körpern, in diesen Raum einzudringen, bevor er ihn selbst verlässt; er ist undurchdringlich.

6. Was ein Körper irgend in die Sinne Fallendes darbietet, heisst Eigenschaft desselben.

Alle Vorgänge in der Natur, alle Naturerscheinungen sind Aenderungen, welche Eigenschaften oder Zustände der Körper erfahren.

Wir machen diese Aenderungen von gewissen Ursachen abhängig, die wir Kräfte oder Naturkräfte nennen und welche wir uns immer so vorstellen, als könnten sie sich ausserhalb der Körper befinden, auf welche sie einwirken. Wenn auch eine solche Trennung in der Wirklichkeit nicht bewerkstelligt werden kann, so ist doch diese Vorstellung von grossem Nutzen und bildet den Ausgangspunct der wichtigsten Fortschritte in der Physik.

7. Das Raumerfüllende von den Kräften getrennt oder für sich betrachtet, heisst Materie, Stoff.

Die Materie wirkt nach unserer Vorstellung nicht durch sich selbst auf die Sinne; sie ist eigenschaftslos, unthätig, träge; sie fördert weder, noch hindert sie die Veränderungen, welche durch die Naturkräfte in den Körpern hervorgebracht werden; sie ist die blosser Trägerin dieser Kräfte.

8. Die Eigenschaften, welche wir bei den Körpern entdecken, sind Aeusserungen der in ihrer Materie thätigen Kräfte.

Manche Eigenschaften sind allen Körpern gemein; z. B. alle Körper besitzen Gewicht, alle sind beweglich, alle theilbar.

Andere Eigenschaften gehören gewissen Klassen von Körpern an und sind also bezeichnend für diese. So treffen wir viele Körper in fester Form, andere in flüssiger und wieder andere in Luftform. Sehr viele feste Körper zeigen sich uns in bestimmter, regelmässig wiederkehrender Gestalt, als Krystalle; bei andern ist die Gestalt etwas Zufälliges u. s. w.

Noch andere Eigenschaften, wie Farbe, Glanz, Härte von bestimmter Art, eine gewisse Krystallgestalt, ein gewisses Verhalten gegen andere Körper u. s. w. gehören nur einzelnen Körpern an. Alle solche Eigenschaften, wodurch sich ein Körper von andern unterscheidet, bilden zusammengenommen das, was man seine Eigenthümlichkeit (Charakteristik) nennt; sie bezeichnen die Qualität, die Art eines Körpers, die Beschaffenheit seines Stoffes.

9. Zwei Körper, welche wesentlich verschiedene Eigenschaften zeigen, nennt man verschiedenartige oder qualitativ verschiedene Körper.

10. Zwei Körper werden quantitativ verschieden genannt, wenn sie bei wesentlich gleichen Eigenschaften doch noch Verschiedenheiten darbieten; wenn sie z. B. ungleiche Grösse oder ungleiches Gewicht besitzen.

11. Die Darlegung der Ursachen, welche die Verschiedenartigkeit der Körper bedingen, bildet den eigentlichen Inhalt der **Clasie** als eines besonderen Theiles der Naturlehre; während die **Physik** im engeren Sinne (auch mechanische Physik genannt) sich mit dem allgemeinen Verhalten der Körper befasst, oder sich als hauptsächliche Frage diejenige stellt: welche Eigenschaften allen Körpern gemein sind und von was für Kräften sie abhängen.

Von den allgemeinen Eigenschaften der Körper und von den Naturkräften.

12. Gewisse Eigenschaften sind bei allen Körpern in dem Grade hervortretend, dass sie sich vorzugsweise als allgemeine Eigenschaften charakterisiren. Dahin gehört: Schwere, Beweglichkeit, Zusammendrückbarkeit, Porosität, Theilbarkeit.

13. **Schwere.** Jeder ruhende Körper ohne Ausnahme äussert einen Druck auf seine Unterlage; er fällt, so wie man die Unterlage entfernt, d. h. er bewegt sich in einer bestimmten Richtung, welche die lothrechte oder senkrechte heisst, gegen die Oberfläche der Erde. Diesen Druck, dieses Bestreben zu fallen, leiten wir von einer besondern Kraft ab, welche die Schwere, Schwerkraft genannt wird. Man kann sie zunächst als eine Anziehung betrachten, welche die Erde auf alle Erdkörper ausübt. Alle Körper sind schwer, heisst demnach: alle Körper werden von der Erde angezogen.

14. **Beweglichkeit.** Die Körper streben nicht nur gegen die Erde zu fallen, sie können durch äussere Ursachen auch nach jeder andern Richtung bewegt werden. Wir selbst sind im Stande, Körpern Bewegung zu ertheilen, und wir finden, dass jeder bewegliche Körper seinerseits wieder andere zu bewegen vermag. Kräfte, durch deren Einwirkung die Lage oder der Ort eines Körpers verändert werden kann, heissen bewegende oder mechanische Kräfte.

15. **Zusammendrückbarkeit und Porosität.** Viele Körper können durch äusseren Druck sehr bedeutend zusammengepresst werden. Kork, Holz, Luft; Prägen der Metalle. Die Erfahrung lehrt, dass selbst solche Körper, die man früher für unzusammendrückbar hielt, wie das Wasser, äusseren Einwirkungen, die ihren Raum (Volumen) zu vermindern streben, nicht ganz zu widerstehen vermögen.

Dieses Verhalten widerspricht nicht der Undurchdringlichkeit der Materie, denn man findet, dass die Materie sehr vieler Körper den Raum, worin sie eingeschlossen ist, nicht stetig (nicht ununterbrochen) ausfüllt; man ist berechtigt, auf eine ähnliche Beschaffenheit zu schliessen.

fenheit auch bei solchen Körpern zu schliessen, bei welchen sich dieselbe nicht direkt wahrnehmen lässt.

Man stellt sich vor, dass jeder Körper aus einem Aggregate materieller Theile bestehe, welche in keiner unmittelbaren Berührung sind, wohl aber durch anziehende oder zusammendrückende Kräfte einander genähert oder durch abstossende von einander entfernt werden können. Die hierdurch gebildeten Zwischenräume heissen Poren; die bezeichnete Eigenschaft: Porosität.

Bei vielen Körpern sind die Poren ganz deutlich sichtbar; Holz, thierische Membrane, poröse Steine. Man hat aber ausser der Sichtbarkeit noch andere direkte Beweise für die Porosität; das Filter des Chemikers; Quecksilber lässt sich durch Leder und durch die dichtesten Hölzer pressen. Wasser, luftförmiger Körper sickern bei sehr starkem Drucke selbst durch Metalle, wie durch Gefässe von Kupfer oder Gold. Manche Stoffe, z. B. trockner Thon, ausgeglühter Gyps, saugen beträchtliche Mengen von Wasser ein ohne verhältnissmässige Vergrösserung ihres Umfangs. Verminderung des anfänglichen Rauminhaltes bei Vermischung mancher Flüssigkeiten oder auch Auflösung fester in flüssigen Körpern; z. B. Vermischung von Schwefelsäure oder Alkohol mit Wasser, zu gleichen Theilen. Der Umfang aller Körper wird durch Erhitzen vergrössert ohne irgend bemerkbare Unterbrechung des anfänglichen materiellen Zusammenhanges. Abkühlen verringert das Volumen der Körper.

16. Theilbarkeit. Man versteht hierunter die Eigenschaft, die jeder Körper besitzt, sich in kleinere Theile zerlegen zu lassen.

Viele Körper können in Theile von so ausserordentlicher Kleinheit zerlegt werden, dass wir zur Bestimmung ihrer Grösse kaum noch einen sichern Anhalt zu finden vermögen. Indessen, so weit auch die Theilung getrieben worden seyn mochte, so kann es doch geschehen, dass, insofern das Ganze eine gleichartige Masse bildete, auch die Theile, sowohl unter einander wie mit dem Ganzen gleichartig sind; z. B. der kleinste Splitter von einem Goldstücke abgelöst, besitzt alle Eigenschaften, welche das Gold auszeichnen.

Die Eigenschaft der Körper, sich in kleinere gleichartige Theile zerlegen zu lassen, heisst mechanische Theilbarkeit.

Zerschneiden, Zerbrechen, Zerschlagen, Zerstoßen, Zerreiben u. s. f. sind die gewöhnlichen Hülfsmittel, mechanische Theilung zu bewirken.

17. Die mechanische Zerlegung der Körper kann, wenigstens mit den uns zu Gebote stehenden Hülfsmitteln, nicht über die Grenzen der sinnlichen Wahrnehmbarkeit hinaus fortgesetzt werden. Die Frage, ob die Theilbarkeit, als Eigenschaft der Materie, überhaupt Grenzen findet, lässt sich daher auf physikalischem Wege nicht beantworten. Mit Beziehung auf die bis jetzt bekannten Wirkungen der Naturkräfte haben wir jedoch Gründe, die Theilbarkeit als begränzt und also die gleichartigen zusammensetzenden Theile der Körper ihrer Form, Grösse und inneren (eigenthümlichen, qualitativen) Beschaffenheit nach als gegeben zu betrachten.

Die nach dieser Vorstellung kleinsten Theile der Körper heissen Massentheile oder Atome.

Jeder gleichartige Körper ist ein Aggregat, eine Nebeneinanderlagerung gleichartiger Atome. Die Atome sind die Träger einer anziehenden Kraft (Cohäsionskraft), durch deren Einwirkung sie sich gegenseitig zu nähern streben, und zugleich einer abstossenden

Kraft (Expansionskraft), welche die völlige Berührung der Atome verhindert.

18. Die Atome der meisten Körper, wenn auch mechanisch nicht weiter zerlegbar, lassen sich gleichwohl noch chemisch zertheilen, d. h. sie können unter dem Einflusse gewisser Kräfte, die man chemische Kräfte nennt, in zwei oder mehrere Bestandtheile geschieden werden, welche hinsichtlich der Beschaffenheit des Stoffes weder unter einander noch mit dem Ganzen übereinstimmen.

19. Es gibt nur eine kleine Anzahl Körper — im Ganzen 55 — deren Bestandtheile, oder welche bis jetzt in keine weiteren, ungleichen Bestandtheile, oder welche nicht chemisch zerlegt werden konnten. Man betrachtet sie desshalb, vorläufig wenigstens, als einfache Stoffe. Im Gegensatze werden alle übrigen Körper zusammengesetzte Stoffe genannt.

Die kleinsten Theile der einfachen Stoffe heissen einfache Atome; wir müssen sie der Grösse, Gestalt und ganzen Beschaffenheit nach als ursprünglich vorhanden und unveränderlich betrachten.

Die kleinsten, d. h. mechanisch nicht weiter zerlegbaren Theile der zusammengesetzten Stoffe heissen zusammengesetzte Atome.

Da eine gegenseitige Durchdringung dem Begriffe des Atoms widerspricht, so können die zusammengesetzten Atome nur durch Nebeneinanderlagerung (Juxtaposition) der einfachen entstehen.

Jedes zusammengesetzte Atom heisst auch eine chemische Verbindung.

Die Kraft, vermöge der die einfachen Atome einander anhaften und mit einer Stärke festhalten, die stets grösser ist als der mechanische Zusammenhang der gebildeten zusammengesetzten Atome, wird chemische Verwandtschaft oder auch Affinität genannt.

Die ganze Klasse von Erscheinungen, welche von der chemischen Verwandtschaft und von der Wechselwirkung ungleichartiger Stoffe abhängen, gehört in das Gebiet der Chemie.

20. Die in den vorhergehenden Paragraphen erörterte Vorstellung, dass die neben einander liegenden kleinsten Theile der Körper in keiner unmittelbaren Berührung stehen und ihrer ganzen Beschaffenheit nach ursprünglich vorhanden und unverändert seyen, heisst die atomistische Theorie.

Sie wird noch nicht von allen Physikern mit gleichem Beifalle aufgenommen. Viele neigen sich mehr zu einer andern Vorstellung, deren Ausgangspunkt nicht in gleichem Grade in der Erfahrung wurzelt, welche vielmehr aus der rein geistigen Anschauung der Dinge hervorgegangen ist. Sie heisst die dynamische Theorie, weil nach ihr ursprünglich nur Kräfte vorhanden waren,

Zehkraft und eine Dehnkraft. Die Materie ist das Resultat der Wechselwirkung dieser entgegengesetzten Kräfte; sie bildet ein stetiges Ganze und ist bis in's Unendliche theilbar.

Der Werth einer physikalischen Theorie wird bestimmt durch den Einfluss, den sie auf die Wissenschaft übt, sey es durch Aufklärung der Erscheinungen, durch Erleichterung der Uebersicht, durch Vereinfachung der Gesetze, sey es indem sie den Weg zu neuen Forschungen ebnet. Durch die dynamische Hypothese ist die Naturlehre weder in der einen noch in der andern Beziehung auch nur einen Schritt vorwärts gekommen. Gewiss ist es dagegen, dass die atomistische Ansicht für unsere Forschungen über die physische Constitution der Körper den sichersten Anhaltspunct gewährt hat und noch immer gewährt und dass wir ihr einen grossen Theil der Fortschritte der neueren Chemie und Physik verdanken.

21. Ausser den bisher erwähnten, zunächst auffallenden allgemeinen Eigenschaften der Körper gibt es noch andere, die, wenn auch vielleicht nicht weniger allgemein, doch gleichsam nur unter gewissen Bedingungen und nur vorübergehend an den Körpern wahrgenommen werden. Es hat den Anschein, als ob sie weniger innig mit dem Wesen derselben verknüpft seyen, und als ob die Ursachen, die Kräfte, von welchen sie abhängen, der bekannten Materie als Träger nicht bedürften. Diese Eigenschaften sind: Erwärmungsfähigkeit (oder auch Abkühlungsfähigkeit), Sichtbarkeit, elektrisches und magnetisches Verhalten.

Man huldigte früher ganz allgemein der Vorstellung, dass diese Eigenschaften an gewissen Stoffen hafteten, die mit den sinnlich wahrnehmbaren Stoffen nicht zu verwechseln seyen, wohl aber mit diesen letzteren Verbindungen einzugehen vermöchten. Diese hypothetischen Stoffe nannte man: Wärmestoff, Lichtstoff, elektrisches und magnetisches Fluidum, und man legte denselben mancherlei Eigenschaften bei, z. B. Gewichtslosigkeit, weil die mit ihnen in Verbindung getretenen Körper dadurch an Gewicht nicht zugenommen hatten, noch auch durch den Austritt denselben leichter geworden waren; — daher der Name *Imponderabilien*.

Hiernach erwärmt sich ein Körper durch Aufnahme von Wärmestoff; er wird leuchtend durch die Verbindung mit Lichtstoff; er wird elektrisch oder magnetisch, wenn er sich mit Electricum oder mit Magneticum verbunden hat.

Ogleich die Vorstellung von den imponderablen Stoffen mit Beziehung auf die magnetischen und optischen Erscheinungen ganz unhalthar, hinsichtlich der elektrischen und Wärme-Erscheinungen wenigstens zweifelhaft geworden ist, so ist es doch dem Scharfsinne der Naturforscher bis jetzt nicht gelungen, die hierdurch fühlbar gewordene Lücke auf ganz befriedigende Weise auszufüllen.

Wenn demnach unsere Ansichten über die letzten Gründe der Wirkungen des Lichtes, der Wärme, der Electricität und des Magnetismus noch sehr mangelhaft und unvollkommen sind, so ist es

gleichwohl geglückt, den grössten Theil der Erscheinungen, w dieser wichtige und anziehende Theil der Physik darbiete feste, nicht selten sehr einfache Gesetze zurückzuführen.

Vom Messen.

22. Körper, welche sich in mehreren oder selbst in allen Eigenschaften gleichen, können doch noch verschieden se Beziehung auf das Mass (Quantität), in welchem sie diese l schaften besitzen. Die Vergleichung dessen, was die Körper der Art nach, gleichen Eigenschaften, dem Mass nach Versc nes oder quantitativ Verschiedenes besitzen, heisst: Messe

Jeder Körper, welcher zu einer derartigen Vergleichung ; net oder besonders dazu eingerichtet ist, jedes passende V chungsmittel quantitativer Verschiedenheiten heisst ein (im engeren Sinne des Wortes) oder Messwerkzeug.

Die wichtigsten und am häufigsten vorkommenden Mess sind Bestimmungen von räumlichen Grössen und von Gewi Es sind zugleich die einzigen, von welchen hier schon die seyn kann.

23. Um die körperliche Grösse oder den Rauminhalt ver dener Körper zu messen, muss ein gewisser Raum als Ausg punkt der Vergleichung gewählt werden. Dieser übrigens kührlich angenommene Raum heisst Einheit des Körper ses. Der Rauminhalt eines Körpers ist gemessen, sobald da hältmiss desselben zu dem der Einheit bekannt ist, oder sobal weiss, wie vielmal sich die Einheit in den zu messenden eintragen lässt.

Das Messen körperlicher Räume ist in sehr vielen Fällen direkt ausführbar. Die räumlichen Messungen können aber auf Längenmessungen zurückgeführt werden. Wie dies schieht, lehrt die Geometrie.

Das Längenmass bildet daher gewöhnlich die Grundlag Flächen- und Körpermasse. Unter allen Grössenmessungen die Längenmessungen die am häufigsten vorkommenden. S schehen aber in verschiedenen Ländern nicht mit derselben einheit.

Die Bedingungen eines praktisch werthvollen Masses Unveränderlichkeit, möglichst grosse Verbreitung quemlichkeit im Gebrauche. Die an verschiedenen Orte bräuchlichen Masse erfüllen nicht in gleichem Grade diese l gungen. Zu den verbreitetsten Massen gehören: der alte P Fuss, das Metre oder neue französische Mass, der englische nische und österreichische Fuss.

Diese, so wie die meisten guten neueren Masse sind a

Grundlage des Pariser Fusses regulirt worden, in der Weise, dass z. B.

Ein Metre gesetzlich = 443,296 P. L. (Pariser Linien.)

Ein englischer Fuss = 135,098 „ „

Ein rhein. F. gesetzl. = 139,128 „ „

Ein östreich. F. ges. = 140,125 „ „

Die gesetzlich bestimmte Länge dieser Masse wurde mit möglichster Genauigkeit und Umsicht auf Stäben von Platin, Eisen oder Messing aufgetragen, wodurch die Bedingung der Unveränderlichkeit sich am sichersten erreichen lässt. Solche durch das Gesetz anerkannte Massstäbe heissen *Normalmasse*. (Eine Vergleichung der gebräuchlichsten Masse findet man auf der ersten der diesem Werke angehängten Tafeln.)

Zur genauen Festsetzung sehr kleiner Längenverschiedenheiten benutzt man den Nonius, den Transversalmassstab.

24. Die Vergleichung des Gewichtes verschiedener Körper, das Wiegen, ist ebenfalls eine Messoperation. Das hierzu nöthige Mass heisst: die *Gewichtseinheit*. Mehrere Gewichtseinheiten, die man in der Regel zusammen gebraucht, werden vorzugsweise die *Gewichte* genannt. Das Gewicht eines Körpers ist gemessen, wenn das Verhältniss des Druckes, den er auf seine Unterlage ausübt, zu dem der Gewichtseinheit gefunden ist. Zur Ermittlung dieses Verhältnisses ist jedoch ausser den Gewichten noch ein besonderes Werkzeug, die *Wage*, erforderlich.

Der Gebrauch der *Wage* ist eine allgemein bekannte Sache; ihre nähere Einrichtung und Theorie kann aber erst später erklärt werden (150).

Wiegen, mit Beziehung auf die dazu verwendeten Hilfsmittel, heisst nun: die Anzahl von Gewichtstheilen bestimmen, welche einen dem zu wiegenden Körper gleichen Druck ausüben, oder deren Druck mit demjenigen des Körpers im Gleichgewichte steht.

Die Annahme der Gewichtseinheit ist eben so willkürlich wie die der Längeneinheit. Es sind daher in verschiedenen Ländern auch verschiedene Gewichte im Gebrauche. (Näheres hierüber findet man auf Taf. II.)

In diesem Werke wird als Gewichtseinheit vorzugsweise das *Gramme* angewendet werden.

1000 Milligramme = 100 Centigramme = 10 Decigramme = 1 Gramme.

1000 Gramme = 1 Kilogramme.

Ein Gramme reines Wasser bei seiner grössten Dichte ist = 1 Cubikcentimeter (C. C.).

1000 Gramme Wasser = 1000 C. C. = 1 Litre.

Von der Dichtigkeit der Körper und vom specifischen Gewichte.

25. Die Menge (Quantität) von Materie, welche den Raum eines Körpers ausfüllt, heisst seine Masse.

26. Das Verhältniss der Masse eines Körpers zu seinem Rauminhalte (Volumen) nennt man seine Dichtigkeit.

27. Ein Körper ist dichter wie der andere, wenn er in gleichem Raume eine grössere Menge materieller Theile enthält. Ein Körper heisst verdichtet, wenn sein Raum sich vermindert hat, ohne Aenderung seiner Masse.

Da die Körper poröse sind, da ihr Umfang durch äussere Einwirkungen grössert und auch verringert werden kann, so gestattet die Grösse ihres Rauminhaltes keinen unbedingten Schluss auf die Menge der darin eingeschlossener Materie, oder zwei Körper von gleichem Rauminhalte können sehr ungleiche Massen enthalten.

28. Das Gewicht eines Körpers ist gleich der Summe der Gewichte seiner Atome. Ein Körper enthält um so mehr materielle Theile von gleichem Gewichte, je stärker er selbst auf die Waage drückt; er ist also um so dichter, je mehr Gewichtstheile er in demselben Raume umfasst. Wir schliessen hieraus: dass die Dichtigkeit eines Körpers ihrem Gewichte proportional ist, und dass folglich die Dichtigkeit auch bezeichnet werden darf: als das Verhältniss des Gewichtes zu dem Rauminhalte oder Volumen.

Nennen wir z. B. das Gewicht von 1 C. C. Wasser die Dichtigkeit desselben, so ist das Verhältniss eines beliebigen Gewichtes zu der Anzahl Cubikcentimeter seines Inhalts, oder was dasselbe bedeutet, das Gewicht von 1 C. C. Wasser zu dem Gewichte des Glases u. s. w. die Dichtigkeit des Glases u. s. w.

29. Zahlen, welche die Dichtigkeiten der Körper in der Dichtigkeit des Wassers ausdrücken, dass man die ganze in der Raumesinheit eingeschlossene Gewichtsmasse von einem derselben, z. B. vom Wasser, zugleich als Gewichtseinheit annimmt, werden die specifischen Gewichte dieser Körper genannt.

Man findet z. B. die Gewichte von einem Darmst. K. Z. oder $\frac{1}{4}$ Litre

Wasser	15,625	Gramme.
Glas	39,063	„
Eisen	121,688	„
Blei	177,375	„
Korkholz	3,750	„

Nennt man nun das in Grammen gefundene Gewicht von einem K. Z. W. z. B. ein Loth, und drückt man in dieser neuen Gewichtseinheit auch die Dichten der Körper aus, so ergeben sich die specifischen Gewichte

des Wassers	1
des Glases	2,500
des Eisens	7,788
des Bleis	11,352
des Korkholzes	0,240

(Ein ausführliches Verzeichniss von specif. Gewichten findet sich Taf. I.)

30. Die Bestimmung des specifischen Gewichtes eines Körpers setzt voraus: Kenntniss seines (absoluten) Gewichtes, so wie seines räumlichen Inhaltes. Ersteres lässt sich immer durch die Wage ermitteln, letzteres ist aber nur in wenigen Fällen auf geometrischem Wege mit befriedigender Genauigkeit bestimmbar.

Wie man zu verfahren hat, wenn eine genaue direkte Bestimmung des kubischen Inhaltes eines Körpers nicht gut ausführbar oder ganz unmöglich ist, kann erst in der Folge gezeigt werden.

Das gefundene Gewicht, dividirt durch das gefundene Volum, gibt das specifische Gewicht.

Beispiel. Ein Stück lufttrocknes, parallelepipedisch gearbeitetes Buchenholz ist 25 Centimeter lang, 10 Cent. breit, 2 Cent. dick; es enthält also 1250 Cubikcent.

und wiegt 937,5 Grm.; daher ist sein specif. Gewicht $= \frac{937,5}{1250} = 0,75$.

Von den Körperzuständen.

31. Wir beobachten die Körper in drei Aggregat-Zuständen: als feste, als flüssige und als gasförmige Körper.

Unter festen Körpern versteht man alle diejenigen, welche eine selbstständige Gestalt besitzen und deren Theile einer jeden äusseren Ursache, welche dieselben zu verschieben oder von einander zu trennen strebt, einen mehr oder weniger grossen Widerstand entgegensetzen.

Die Gestalt fester Körper ist entweder zufällig, d. h. durch zufällige äussere Umstände bedingt und ohne eine deutliche Beziehung zur inneren Beschaffenheit des Stoffes; oder sie hängt von einem gewissen regelmässigen Gefüge der Massentheile, dem sogenannten krystallinischen Gefüge ab, und bildet folglich einen Theil der Eigenthümlichkeit eines Körpers. Körper, die von ebenen Flächen eingeschlossen sind, und deren äussere Gestalt in einer sichtbaren Abhängigkeit zum inneren Gefüge steht, werden Krystalle genannt.

Das Studium der verschiedenen Krystallgestalten und ihrer Abhängigkeit vom inneren Gefüge der Körper bildet den Gegenstand der Krystallographic.

Körper ohne deutliches krystallinisches Gefüge nennt man gestaltlos (amorph), ein Ausdruck, der sich natürlich nur auf den Mangel einer gewissen Regelmässigkeit der Gestalt bezieht.

32. Die nächste Ursache der Festigkeit oder jenes Widerstandes gegen äussere Eindrücke ist die Anziehung, welche jedes materielle Theilchen gegen das andere ausübt. Wir betrachten sie als die Aeusserung

einer Kraft, welche ihren Sitz in den Atomen selbst hat und der wir den Namen Zusammenhangskraft oder Cohäsionskraft beilegen.

Das Daseyn einer anziehenden Kraft zwischen den materiellen Theilchen genügt jedoch nicht zur Erklärung des Zustandes der Festigkeit. Die Bedingung der Unverschiebbarkeit oder der nur begrenzter Verschiebbarkeit setzt ausserdem eine ungleiche Anziehung nach verschiedenen Richtungen, bedingt durch bestimmte Formen und Abstände der Atome, voraus. Der gegenwärtige Zustand der Physik gestattet jedoch noch keine nähere, auf dem festen Boden der Erfahrung gestützte Auseinandersetzung dieser Bedingungen.

33. Die Wirkungen der Cohäsionskraft erstrecken sich in wahrnehmbarer Weise nur auf diejenigen verschwindend geringen Entfernungen, welche in der Umgangssprache mit dem Worte Berührung bezeichnet werden.

Verwandelt man einen Körper, z. B. durch Zerreiben, in kleinere Stücke, zeigt sich zwischen diesen Theilchen, die jetzt nicht mehr in derselben nahen Berührung stehen, wie vorher, gewöhnlich keine bemerkbare Anziehung mehr. Gibt man aber den getrennten Theilen Gelegenheit, sich wieder an mehreren Punkten zu berühren, z. B. durch Abschleifen der Oberflächen, so kommt es wieder eine deutliche Anziehung zum Vorschein, zunehmend mit der Anzahl der Berührungspunkte; Cohäsionsplatten.

34. Eine der Cohäsion ähnliche Wirkung findet auch zwischen ungleichartigen Körpern statt, wenn sie dieselben eine genügende Anzahl Berührungspunkte darbieten.

Anziehung zwischen abgeschliffenen und polirten Oberflächen beliebiger fester Körper, die man auf einander legt.

Diese Anziehung, da sie nur von den unmittelbar den Oberflächen liegenden Theilen ausgehen kann, wird Flächenanziehung, auch Adhäsion genannt.

Cohäsion und Adhäsion bezeichnet man auch mit dem gemeinschaftlichen Namen Molekularanziehung, von dem Worte Moleküle, Massentheilchen.

35. Die Körpertheile sind zugleich die Träger einer abstossenden Kraft, d. h. einer Kraft, welche die Atome von einander zu entfernen, oder, was dasselbe bedeutet, die Körper auszudehnen, zu expandiren strebt, daher Expansionskraft.

Die Eigenschaft der Porosität wäre ohne das Daseyn einer solchen Kraft nicht denkbar. Die Festigkeit ist eine Art Gleichgewichtszustand zwischen Cohäsionskraft und Expansionskraft.

Kräfte, welche der Cohäsion entgegenwirken (ziehende oder dehnende Kräfte) unterstützen die Expansionskraft, d. h. sie wirken ausdehnend.

Verlängerung von Stäben von Metall, Holz, Glas u. s. w., die man an einem Ende einklemmt und am andern Ende spannt, z. B. durch angehängte Gewichte. t der Verlängerung tritt gleichzeitig eine Verminderung der Dichtigkeit ein. (ogg. Ann. B. 12. S. 516.)

Man hat gefunden, dass die Längenausdehnung (cylindrischer der prismatischer Stäbe) in etwas stärkerem Verhältnisse zunimmt, als die Zugkraft, wodurch sie bewirkt wird, und dass über eine gewisse Gränze der Spannung hinaus, eine Gränze, die übrigens bei jedem Körper verschieden ist, der Zusammenhang stets in irgend einem Querschnitte des Stabes aufgehoben wird; er wird zerrissen.

Ein Gewicht, welches eben hinreicht, einen aus irgend einem festen Stoffe gebildeten Stab zu zerreissen, betrachtet man gewöhnlich als ein Mass für die Grösse der Festigkeit an der Stelle, an welcher der Zusammenhang gelöst wurde. Man findet, dass die Grösse dieses Gewichtes sich verhält wie die Grösse des Querschnittes des Stabes, und nennt daher dasjenige Gewicht, wodurch ein gewisser Körper für die Einheit des Querschnittes eben noch zerrissen wird, seine absolute Festigkeit oder auch sein absolutes Tragungsvermögen.

Verschiedene Körper besitzen sehr ungleiche absolute Festigkeit; z. B. Stahl bei einem Querschnitte von 1 Preuss. Q. Z. trägt zwischen 120,000 bis 150,000 Pfund; Schmiedeeisen bei demselben Querschnitte ungefähr 70,000 Pfund; Kupfer höchstens 40,000, Bleidraht noch nicht 4000 und weisses Glas nur 2800 Pfund. Das Tragungsvermögen der Hölzer schwankt zwischen 10 — 20,000 Pfund nicht nur je nach der Natur des Holzes und dem Orte, wo es gewachsen ist, sondern auch je nachdem es vom Splint oder vom Kern genommen ist.

Durch äussere Kräfte, welche in gleichem Sinne wie die Cohäsion wirken, oder welche der Expansion entgegengesetzt sind, werden die Körperteile einander genähert; es findet Zusammendrückung statt. Der Widerstand eines Körpers gegen das Zusammendrücken wird rückwirkende Festigkeit oder rückwirkendes Tragungsvermögen genannt.

Die Anwendung der Hanfseile und der Ketten gründet sich auf die absolute Festigkeit ihres Stoffes, das Tragungsvermögen der Grundmauern auf die rückwirkende Festigkeit der dazu verwendeten Baumaterialien.

36. Alle festen Körper können unter der Einwirkung äusserer Kräfte gedehnt und zusammengedrückt, ihre einzelnen Theile von einander entfernt und einander genähert, aus der ursprünglichen Lage verrückt und verschoben werden. Haben aber diese Wirkungen gewisse Gränzen nicht überschritten, so stellt sich nach Entfernung der Ursachen, wodurch sie herbeigeführt wurden, die ursprüngliche Gestalt und der ursprüngliche Umfang, kurz das ursprüngliche Gleichgewichtsverhältniss zwischen Cohäsionskraft und Expansionskraft vollständig wieder her. Diese Eigenschaft der festen Körper heisst Elasticität.

Jeder feste Körper ist elastisch, aber keiner ist es in einem

vollkommen Grade: denn wenn die durch äussere Ursachen wirkten Aenderungen der Form über eine gewisse Gränze Elasticitätsgränze, die bei jedem Körper von seiner Beschaffenheit abhängt, hinausgehen, kehrt der Körper nicht ganz zurück; die Kräfte, von welchen derselbe als war, treten in ein anderes Gleichgewichtsverhältniss.

Vorübergehende Veränderungen der Gestalt fester Körper durch Zuebiegung, Drehung. Diese Aenderungen sind theilweise bleibend, wenn man die Elasticität überschritten werden. Ueberschreitet man aber die Gränzen der Dehnbarkeit eines Körpers, so wird derselbe, je nach der Einwirkung, zerrissen, zerdrückt, zerbrochen, abgedrückt.

Manche Körper können, ohne zu zerrissen, weit über die Elasticitätsgränze hinaus gedehnt werden, indem ihre Theile sich verschieben und in eine andere, oft augenscheinlich andere Art des Zusammenhanges eintreten, z. B. statt des körnigen ein faseriges Gefüge annehmen. Diese Eigenschaft heisst Zähigkeit.

Gold, Kupfer, Eisen, Blei, zum Glühen erhitztes Glas, Kautschuck, Perle sind zähe Körper.

Mehrere Metalle, die einen hohen Grad der Zähigkeit besitzen und dadurch befähigt sind, sich dehnen, biegen oder in anderer Art bearbeiten zu lassen, ohne ihren Zusammenhang einzulassen, werden insbesondere streckbare Metalle genannt.

Platin, Gold, Silber, Kupfer, Eisen, Zinn, Blei, Zink, Messing, Schmiedeeisen, Hämmerbarkeit, Walzbarkeit, so wie die Fähigkeit, sich zu ziehen zu lassen, sind nur Abarten der Streckbarkeit.

Solche Körper, die bei grosser absoluter Festigkeit nur geringe Zähigkeit besitzen, also keine bedeutende Verschiebung der kleinsten Theile gestatten, heissen harte Körper. Diamant, Stahl.

Weich werden diejenigen genannt, deren Theile durch geringe Einwirkungen leicht getrennt oder doch verschoben werden können. Kalk, Gyps, Wachs, Holz, Blei, Zink.

Weiche Körper, wenn sie zugleich zähe sind, wie das Eisen oder sehr elastisch, wie Holz, Kautschuck, können gleichzeitig eine grosse absolute Festigkeit besitzen. Körper, die mit geringe Zähigkeit verbinden, nennt man auch geschmeidig.

Diejenigen Körper, deren Zähigkeit so gering ist, dass sie keine Dehnung über die Elasticitätsgränze hinaus ertragen können, werden spröde genannt. Gehärteter Stahl, Glas, Harz.

37. Unter dem Namen „flüssige Körper“ werden diejenigen begriffen, deren Theile durch die geringste Kraft aus ihrer Lage über und unter einander bewegt werden können und welche folge dieser grossen Verschiebbarkeit ihrer Theile keine bestimmte Form behaupten können, z. B. in Gefässen aufbewahrt immer die Gestalt derselben annehmen müssen. Die Flüssigkeiten

zerfallen in zwei Klassen, in tropfbare und ausdehnsame Flüssigkeiten (Gase).

38. Die tropfbaren Flüssigkeiten charakterisiren sich zunächst durch das Streben zur Tropfenbildung. Ihre Theile setzen einer jeden äusseren Einwirkung, welche sie von einander zu trennen sucht, einen bestimmbaren Widerstand entgegen. Von einander gerissen und wieder in Berührung gebracht, vereinigen sie sich mit grosser Leichtigkeit wieder. Die Cohäsionskraft zeigt sich also bei tropfbaren Flüssigkeiten in deutlicher, ja messbarer Wirksamkeit. Aber ein Theilchen im Innern der Masse übt sie nach allen Richtungen mit gleicher Stärke, und hierin (wie man in der Folge vielleicht deutlicher einsehen wird) liegt der Grund, dass die flüssigen Theile im Innern der Masse gleichwohl eine vollkommene Verschiebbarkeit besitzen.

Die Theilchen an der Oberfläche widersetzen sich bis zu einem gewissen Grade der Verschiebung, und durch äussere Ursachen aus ihrer Lage gebracht, kehren sie nach Entfernung dieser Einwirkung wieder in dieselbe zurück, d. h. sie sind elastisch. In diesem Umstande liegt denn auch — was ebenfalls in der Folge erst ganz deutlich gemacht werden kann — die Ursache der Tropfenbildung.

39. Ueberall, wo Flüssigkeiten mit den Oberflächen fester Körper in Berührung treten, äussert sich zwischen denselben eine bemerkbare, oft sehr starke Flächenanziehung.

Diese Anziehung erhält den Namen Benetzbarkeit, wenn sie stärker ist als das Streben zur Tropfenbildung, dergestalt, dass ein Tropfen der Flüssigkeit über der Oberfläche des festen Körpers zerfliesst.

Z. B. Eisen, Glas, Holz werden vom Wasser, — Gold, Silber, Zinn vom Quecksilber benetzt; Eisen und Glas benetzen sich nicht im Quecksilber, mit Fett getränktes Holz nicht im Wasser.

Feste Körper, deren Oberflächen von einer Flüssigkeit benetzt werden, bleiben, wenn man sie mit letzterer in Berührung bringt und dann davon losreisst, mit einer flüssigen Schicht bedeckt, deren Anziehung zu der übrigen Flüssigkeit also hat überwunden werden müssen. Hierdurch erhalten wir ein Mittel, die Grösse der gegenseitigen Anziehung der flüssigen Theile zu messen.

40. Mit dem Namen ausdehnsame oder gasförmige Flüssigkeiten, Gase, werden alle diejenigen flüssigen Körper bezeichnet, deren Theile, wie die der atmosphärischen Luft, bei der vollkommensten Beweglichkeit nicht die geringste Spur einer gegenseitigen Anziehung erkennen lassen.

Die Gase sind in geschlossenen Gefässen und durch äusseren Druck, z. B. in einem cylindrischen Rohre, dessen eines Ende verschlossen ist und an dessen anderem Ende man einen wohl anschliessenden Stämpel eintreibt, in hohem Grade zusammendrückbar (compressibel). Man nennt sie daher auch zusammendrückbare oder compressible Flüssigkeiten, im Gegensatze zu den tropfbaren, die sich nur sehr wenig durch äusseren Druck verdichten lassen, und aus

diesem Grunde zuweilen unzusammendrückbare (incompressible) Flüssigkeiten genannt werden.

Verdichtete Gase nehmen, wenn die äussere Einwirkung nachgelassen ihren früheren Umfang vollständig wieder ein; z. B. der in einem cylindrischen Rohre eingetriebene Stämpel springt wieder zurück. Man hat ihnen deshalb auch die Namen elastische Flüssigkeiten gegeben.

Die Gase besitzen übrigens die Eigenschaft der Elasticität nicht ganz in dem Sinne wie die festen Körper. Ihre Theile äussern keine Anziehung, sondern Druck gegen einander. Sie besitzen daher das Bestreben, ihren Raum zu vergrössern (Ausdehnbarkeit, Expansibilität) bei jedem Grade der Dichtigkeit vermögen sich aber nicht freiwillig wieder zusammenzuziehen.

Setzt man in dem vorerwähnten cylindrischen Rohre der Stämpel am Boden an und zieht man ihn hervor, so dass inwendig ein luftleerer Raum entsteht, wird er, wenn man ihn sich selbst überlassen, mit Gewalt wieder nach Innen getrieben. Zieht man ihn und setzt den äusseren Raum mit dem inneren durch die Oeffnung eines Hahnes in Verbindung, so dringt die Luft mit Geräusch ein. Verschliesst man den Hahn erst dann, wenn keine Luft mehr eindringt, so geht der Stämpel nicht mehr freiwillig zurück. Setzt man den luftleeren Raum des Cylinders nicht mit dem ganzen äusseren Raume, sondern nur mit einem luftenthaltenden Glasgefässe in Verbindung, so strömt gleichwohl ein Theil dieser Luft in den leeren Cylinders. Befindet sich zugleich in dem Glasgefässe eine nur theilweise mit Luft erfüllt und zugebundene Schweinsblase, so schwillt sie an. Die Luft äussert also, wie sie verdichtet oder nicht, unverkennbar einen Druck gegen die Oberflächen des Körpers; sie strebt, sich nach allen Richtungen auszubreiten und in jeden Raum einzudringen, der noch gar keine oder eine weniger dichte Luft enthält.

Die Eigenschaft der kleinsten Theile der Gase, einander abzustossen oder zu drücken und diesen Druck selbst auf die Oberflächen nicht gasförmiger Körper fortzupflanzen, heisst auch Spannkraft, Expansivvermögen.

II. Von der Wärme und ihrem Einflusse auf die Beschaffenheit der Körper.

41. Alle Körper können die Eigenschaft annehmen, in unseren Gefühlsorganen in den mannichfaltigsten Abstufungen der Stärke diejenigen Empfindungen hervorzubringen, welche mit den Worten: Wärme, Hitze, Kälte bezeichnet werden.

42. Die Körper gewinnen diese Eigenschaft und verlieren sie wieder, sie äussern dieselbe bei unmittelbarer Berührung und auch bei der Entfernung, ohne dass ihre wägbare Masse dabei irgend etwas zu oder abnimmt. Man hat daher die genannten Empfindungen von der Gegenwart oder Abwesenheit eines eigenthümlichen Stoffes abgeleitet, den man Wärme oder Wärmestoff genannt hat. Die Wärme ist nach dieser Vorstellung eine unsichtbare, gewichtslose und feine Flüssigkeit, dass sie leicht in die Poren aller Körper eindringt. Sie wird von den Atomen aller wägbaren Materie angezogen; aber gegen einander selbst üben die neben einander liegenden Theile des Wärmestoffes eine sehr starke Abstossung (Inexpansibilität), und erhalten dadurch die Fähigkeit, sich nicht nur in jedem freien Raume, sondern auch in den Poren der Körper auszubreiten.

Die Empfindung von Wärme (Hitze) erklären wir demzufolge aus ein

fluss des Wärmestoffes in unseren Körper; die Empfindung von Kälte aus dem Abfluss von Wärmestoff. Wir nennen einen Körper warm, wenn aus seinem Raume Wärme in den unsrigen übertritt; kalt, wenn das Umgekehrte statt det. *)

43. Die jedesmalige Stärke des Wärmegefühles eines Körpers ist im Allgemeinen die jedesmalige Stärke (der Grad), womit die ihm vorhandene Wärme sowohl auf seine eigene Masse, wie auf diejenige der Umgebung einwirkt, heisst seine Temperatur.

Die Ausdrücke: heiss, warm, lau, kühl, kalt sind Namen für verschiedene Abstufungen oder Höhen der Temperatur, abgeleitet von dem jedesmaligen Eindrücke.

Wir sagen: die Temperatur eines Körpers nimmt zu, oder er erwärmt sich, wenn er sich heisser anfühlt als vorher; seine Temperatur nimmt ab, er erkaltet, wenn er sich weniger warm anfühlt als vorher.

Als Ursache des Steigens der Temperatur betrachtet man eine Zunahme des in den Poren eines Körpers enthaltenen Wärmestoffes; als Ursache der Abnahme der Temperatur, einen Abfluss von Wärmestoff.

44. Die Temperatur der Körper ist gewöhnlich nichts Bleibendes; man beobachtet beinahe fortwährend entweder eine Zunahme oder Abnahme derselben. Ein Körper, der mit wärmeren in Berührung steht, oder auch nur aus der Ferne von ihnen umgeben ist, erwärmt sich, während die Temperatur der Umgebung abnimmt. Ist ein Körper von kälteren umgeben, so erkaltet er ebenfalls. Es muss hieraus geschlossen werden, dass ein Körper, indem er andern Wärme mittheilt, selbst verliert.

Um dieses Verhalten zu erklären, nimmt man an, dass die Expansivkraft der Wärme in geradem Verhältnisse zu ihrer Dichtigkeit stehe, und dass in den Poren des wärmeren Körpers immer auch ein dichter Wärmestoff enthalten sey. Die Wärme muss daher aus dem Körper von höherer Temperatur austreten und sich verdünnen, in den von niedriger Temperatur eindringen und sich verdichten, so lange bis überall gleiche Dichtigkeit und Temperatur herrscht. Die Temperatur ist hiernach nichts Anderes, als die jedesmalige Grösse des Bestrebens, womit der im Umfange eines Körpers enthaltene Wärmestoff sich auszubreiten oder nach der Umgebung fortzupflanzen sucht.

Man begreift jetzt, dass andere Körper, die mit dem unsrigen in Berührung kommen, demselben Wärme abtreten oder entziehen müssen, je nachdem sie wärmer oder kälter sind, und hierauf gründet sich unser Urtheil über die Tem-

*) Gegen die Richtigkeit der Vorstellung von einer Wärmematerie sind in der neuesten Zeit wohlbegründete Zweifel erhoben worden, und man hat wahrscheinlich zu machen gesucht, dass die fühlbare Wärme nichts Anderes sey, als eine Folge anhaltender Erschütterungen der kleinsten Theile, Erschütterungen, die sich von einem Körper auf den andern fortzupflanzen vermöchten. Diese neuere Hypothese, obschon sie, wie wir später sehen werden, Manches für sich hat, ist doch gegenwärtig jedenfalls noch nicht ausgebildet genug, um sich ihrer als einziger Grundlage zur Erklärung der Wärmeerscheinungen mit Erfolg bedienen zu können.

peratur der Körper. Grossen Einfluss auf dieses Urtheil hat freilich die Schelligkeit, womit die Entziehung oder Mittheilung stattfindet, während doch, wir sogleich sehen werden, die Schnelligkeit der Wärmebewegung nicht der Temperaturverschiedenheit allein abhängt. Zudem findet man, dass der gegenblickliche Zustand des menschlichen Körpers auf sein Urtheil über Wärmeindrücke nicht ohne Bedeutung ist. Der Ausspruch des Gefühls lässt daher Beschaffenheit der Temperaturveränderungen nicht mit Zuverlässigkeit kennen.

45. Wenn die Wärme sich in der Masse eines Körpers von ei Stelle zur andern fortpflanzt, oder wenn sie von einem Körper d andern durch Berührung mitgetheilt wird, so sagt man, sie we geleitet, und die Eigenschaft eines Körpers, der Wärme den Du gang, so wie den Uebertritt zu andern Körpern bei der Berühru zu gestatten, heisst **Leitungsvermögen, Leitfähigkeit.**

Die oberflächlichste Vergleichung der Körper lehrt, dass ihre Fähigkeit Wärme zu leiten, sehr ungleich ist; z. B. eine Kohle, die nur an einem l glühend ist, kann man ganz nahe der glühenden Stelle ohne Bedenken mit Fingern ergreifen; ganz anders verhält sich glühendes Eisen.

46. Körper, welche, wie das Eisen, die Wärme leicht du ihre Masse fortpflanzen, heissen gute, solche, die sich wie Kohle verhalten, schlechte Wärmeleiter.

Man überzeugt sich leicht, und ohne andere Hülfe, als das Gefühl, d die Metalle, und insbesondere die edlen, gute Wärmeleiter sind; dass G Porzellan, Stein weit schlechter leiten, und dass Holz, Kohle, Wolle, Ba Seide, Federn, Stroh u. s. w. zu den schlechtesten Leitern der Wärme gehö Auch die Luft ist ein sehr schlechter Wärmeleiter, denn eine Luftschicht 1 schen zwei leitenden Flächen, z. B. zwischen zwei Metallplatten, unterbrich Fortpflanzung der Wärme fast gänzlich, während dieselben Platten, auf eina gelegt, die Wärme leicht durchlassen. Doppelte Wände, Thüren, Fenster.

Die guten Leiter erwärmen sich leicht, kühlen sich aber auch leicht ab. schlechten Leiter nehmen die Wärme weit langsamer auf, aber einmal erwä halten sie dieselbe besser zurück. Die ersteren fühlen sich daher bei gleich driger Temperatur kälter, bei gleich hoher Temperatur wärmer an, als die l teren. Handgriffe von Holz schützen vor Hitze; wollene, seidene Kleider ha warm, d. h. sie gestatten nicht einen raschen Abfluss der Körperwärme.

47. Der Uebergang der Wärme von einem Körper zum and erfordert eine unmittelbare Berührung derselben nicht als nothw dige Bedingung, er kann vielmehr durch sehr beträchtliche Z schenräume stattfinden. Die Wärmemittheilung aus der Entfern heisst **Strahlung (Wärmestrahlung).**

Die Sonne erwärmt unsere Erde ausschliesslich durch Strahlung. Der W meindruck brennender oder glühender Körper, auch des heissen Stubenof auf die Umgebung geschieht vorzugsweise durch Strahlung.

Die strahlende Wärme unterscheidet sich von der geleiteten durch Schnelligkeit ihrer Einwirkung, sobald wir dem Körper, der sie aussendet, gegenüber kommen.

Die ausführlichere Darstellung der Bewegungsgesetze der Wärme mü wir uns für die Folge vorbehalten.

48. Der Wechsel der Temperatur eines Körpers ist stets einer Veränderung seines Umfangs begleitet. Zunahme der T peratur dehnt die Körper aus; bei abnehmender Temperatur

ten sie sich zusammen, in der Weise, dass jeder durch seine ganze Masse gleichartige Körper für eine gewisse Temperatur auch einen gewissen Umfang hat. Diese Eigenschaft ist allen Körpern gemein. Die festen Körper werden aber weniger stark, als die Flüssigkeiten, und diese weniger stark, als die Gase ausgedehnt.

Die Ausdehnung der Körper durch die Wärme ist eine unmittelbare Folge der Ausdehnbarkeit des Wärmestoffes und der Eigenschaft der wägbaren Materie, ersteren anzuziehen, wodurch die gegenseitige Abstossung seiner Theile auf die wägbaren Atome übertragen und wodurch die gegenseitige Anziehung der letzteren theilweise aufgehoben wird.

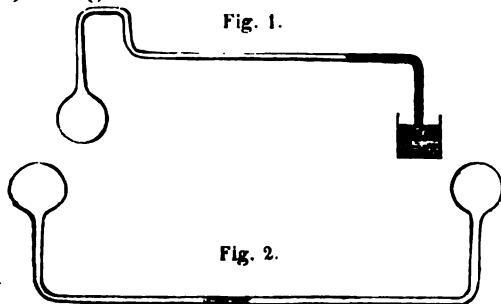
Man kann sich vorstellen, dass jedes Körperatom vermöge seiner Anziehung zu dem Wärmestoffe sich mit einer Atmosphäre von Wärme umgibt, deren Theile im Vergleich zu der Grösse des Atoms überaus klein sind, und welche folglich zu letzterem in weit näherer und innigerer Beziehung als zu anderen entfernter liegenden Körperatomen stehen können. Die Cohäsionskraft hat ihren Sitz in den Körperatomen selbst, sie ist von begränzter Grösse und ihre Wirksamkeit kann durch eine ihr gleiche und entgegengesetzte Kraft zernichtet werden. Die Expansionskraft haftet nicht an der wägbaren Materie selbst, sie ist nur eine Folge der gegenseitigen Abstossung der Wärmeatmosphären; sie muss daher mit der Temperatur, d. h. mit der Dichtigkeit des um jedes Körperatom herum vertheilten Wärmestoffes, zunehmen und je nach ihrer Grösse einen Theil der Cohäsion zernichten.

49. Da die Veränderungen der Temperatur eines Körpers stets von Aenderungen seiner räumlichen Grösse begleitet sind, so lässt sich auch umgekehrt aus den letzteren ein Schluss auf die erstere ziehen. Jede Vorrichtung, geeignet, die von der Wärme abhängigen Zusammenschreibungen und Ausdehnungen eines Körpers wahrzunehmen, kann daher als Anzeiger der Temperatur-Veränderungen, als Thermoscop dienen.

Ein Thermoscop heisst empfindlich, wenn es geringe Temperaturverschiedenheiten schnell und unzweideutig angibt.

Die empfindlichsten, auf die Ausdehnung der Körper gegründeten Wärmeanzeiger sind die Luftthermoscopen.

Thermoscop von Cornelius Drebbel (Fig. 1). Differentialthermoscop von Leslie, Rumford (Fig. 2) und von Schmidt (Fig. 3). Das letzte gründet sich eigentlich nicht auf die Ausdehnung der Luft, sondern auf die des Aethers, wenn er in Dampfgestalt (Luftgestalt) übergeht.



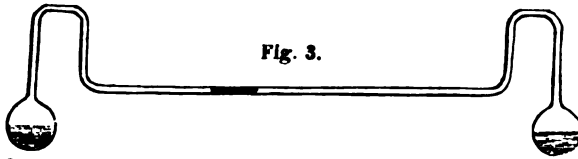
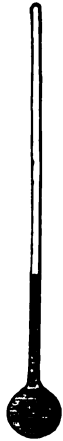


Fig. 3.

Die tropfbaren Flüssigkeiten dehnen sich, in wärmere Umgebung gebracht, nicht nur weit sondern auch weit langsamer aus, als die Gase. U Ausdehnung derselben recht deutlich wahrnehmbar und zur Anzeige von Temperaturverschiedenheiten benutzen zu können, müssen sie in kugelförmigen oder cylindrischen Glasbehältern von sehr geringem Inhalte, die in ein cylindrisches, verhältnissmässig weit engeres Glasrohr ausgehen (Fig. 4), eingeschlossen werden. Je nach der angewendeten Flüssigkeit hält man auf diese Weise: Weingeist-, Oel-, Quecksilberthermoscope u. s. w.

Fig. 4.



Vorkehrungen, wodurch der wirkliche Werth der Ausdehnung dem Auge vergrössert vorgestellt wird, noch nöthiger bei den festen Körpern, weil ihr Umräum durch die Wärme sehr wenig zunimmt.

50. Die festen Körper, indem sie sich ausdehnen, verlieren ihren Zusammenhang (ihre absolute Festigkeit nimmt ab) an kaum bemerkbar, aber bei steigender Temperatur immer mehr, und zuletzt treten fast alle, die einen früher, die andern später in den flüssigen Zustand; sie schmelzen.

Unter den bekannteren Körpern ist die Kohle der einzige, welcher bis jetzt nicht geschmolzen werden konnte; wohl aber gibt es viele, die bei hoher Temperatur, noch ehe sie schmelzen konnten, einer chemischen Zersetzung unterliegen, d. h. in verschiedenartige Bestandtheile zerlegt werden.

Die Temperatur, wobei ein fester Körper flüssig wird, heisst Schmelzpunkt. Diese Uebergangstemperatur ist bei den meisten Körpern sehr scharf bezeichnet. Umgibt man z. B. ein Thermoscop mit schmelzendem Eise oder Schnee, so bemerkt man zu Anfang eine Aenderung des Volums der in dem Rohre enthaltenen Flüssigkeit, eine Zusammenziehung; sie hört aber bald auf, es findet keine weitere Veränderung statt, so lange man auch den Versuch fortsetzen mag. Wir müssen hieraus schliessen, dass das Thermoscop die Temperatur seiner nächsten Umgebung, nämlich des schmelzenden Eises, angenommen hat, und dass diese umänderlich ist. Ganz ähnlich verhält sich ein Thermoscop im schmelzenden Schwefel, in einem schmelzenden Metalle und in andern schmelzenden Körpern. Die Schmelzpunkte der Körper sind feste Temperaturpunkte.

51. Die festen Körper verflüssigen sich beim Eintritte

Schmelzpunkte nicht plötzlich durch ihre ganze Masse. Man findet vielmehr, dass nur ein Theilchen nach dem andern flüssig wird und sich von der festen Masse ablöst. Während der Dauer dieses Ueberganges behauptet nicht nur der noch fest gebliebene Theil, sondern auch der flüssig gewordene, die Schmelztemperatur.

Geschmolzene Körper kehren durch Abkühlung in den festen Zustand zurück, aber auch nicht plötzlich durch ihre ganze Masse. Es erstarrt vielmehr ein Theil nach dem andern. Auch während dieses Ueberganges und so lange noch flüssige Theile vorhanden sind, behauptet die ganze Masse eine feste Temperatur, nämlich die Schmelztemperatur.

Die schmelzbaren Körper haben also die merkwürdige Eigenschaft, jeder bei einer gewissen Temperatur, zugleich im festen und im flüssigen Zustande verweilen zu können, und diese Temperatur bleibt, von welcher Beschaffenheit auch die Umgebung seyn mag, unveränderlich, so lange noch flüssige und feste Theile desselben Körpers vermengt sind.

52. Flüssigkeiten, welche durch Einwirkung der Wärme keine chemische Zersetzung erleiden, werden bei genügender Erhöhung ihrer Temperatur verflüchtigt, d. h. sie gehen in den ausdehnungsfähigen flüssigen Zustand über, oder ihre Theile nehmen einen dem gasförmigen ähnlichen Zustand vollkommener Beweglichkeit und Ausdehnbarkeit an. Die unter dem Einflusse der Wärme gasförmig gewordenen Flüssigkeiten werden Dämpfe genannt.

Die Dampfbildung ist gewöhnlich von einem mehr oder weniger heftigen Aufwallen der Flüssigkeit begleitet, welches, wie eine genauere Beobachtung, hauptsächlich bei durchsichtigen Flüssigkeiten und in durchsichtigen Gefässen, lehrt, die Folge des Aufsteigens zahlreicher Glasblasen (Dampfblasen) ist, die sich unterhalb der flüssigen Oberfläche an den erhitzten Gefässwänden erzeugen. Diese Erscheinung heisst: das Sieden.

53. Jede chemisch reine Flüssigkeit, deren Zusammensetzung durch das Sieden nicht geändert wird, behauptet während der ganzen Dauer dieses Vorganges eine feste Temperatur. Man nennt sie ihren Siedpunkt. Dieselbe Temperatur besitzen die Dämpfe, so lange sie vor dem abkühlenden Einflusse der äusseren Umgebung geschützt sind. Bei dieser und jeder stärkeren Erwärmung erscheinen sie vollkommen klar und durchsichtig, wiewohl nicht immer farblos. Da sie, wie die Luft, Spannkraft und einen hohen Grad von Beweglichkeit besitzen, so verdrängen sie allmählig die Luft aus der nächsten Umgebung der siedenden Flüssigkeit, dergestalt, dass aus einem Gefässe, worin man z. B. Wasser oder Weingeist im Sieden erhält, zuletzt alle Luft vertrieben wird.

Durch Abkühlung kehren die Dämpfe in den Zustand der tropfbaren Flüssigkeit zurück.

Daher das Ansetzen von Tropfen an den Innenwänden der Siedegefäße an jedem kälteren Körper, der mit den aufsteigenden Dämpfen in Berührung kommt; daher die Bildung von Nebeln über der siedenden Flüssigkeit in dem Raume, wo die Dämpfe sich mit der kälteren Luft vermengen.

Das Quecksilberthermometer.

54. Ein beliebiger, übrigens durchaus gleichartiger Körper, dessen lineare Dimensionen bei einem festen Temperaturpunkte gemessen sind, wenn er nachher höher erwärmt oder abgekühlt und dadurch seinen Umfang geändert hat, erhält, zu derselben Temperatur zurückgebracht, genau wieder dieselben Dimensionen wie früher. Jeder Körper besitzt also die Eigenschaft eine gewisse Temperatur einen gewissen Umfang anzunehmen mit derselben Temperatur auch regelmässig wiederkehrt.

Aus dem bei irgend einer Temperatur gemessenen Rauminhalt eines Körpers (z. B. der Flüssigkeit des Thermoscops) können wir folglich den Wiedereintritt derselben Temperatur mit Sicherheit nachweisen, und wir gewinnen durch die Berücksichtigung dieses Erfahrungsgesetzes ein wirkliches Mass zur Bestimmung von Temperaturverschiedenheiten, ganz von derselben Genauigkeit, unsere Hilfsmittel, räumliche Verschiedenheiten zu messen.

55. Jede Vorrichtung, die dazu dient, die Umfangsveränderungen, welche ein Körper durch die Einwirkung der Wärme und zwischen festen Temperaturgränzen erfährt, sicher und mit bestmöglicher Genauigkeit zu messen, und die eben dadurch die Vergleichbarkeit verschafft, gewisse Temperaturen immer wieder zu erkennen, heisst Thermometer oder Wärmemesser.

56. Unter allen derartigen Vorrichtungen hat man das Quecksilberthermometer als das brauchbarste erkannt. Es besteht aus einem sehr engen cylindrischen Glasrohr (gewöhnlich ein Haarröhrchen), welches in gleiche Raumtheile abgetheilt, an einem Ende zu einem, im Verhältnisse zum innern Durchmesser des Rohres sehr geräumigen, reines Quecksilber enthaltenden Gefäße erweitert, am andern Ende aber zugeschmolzen ist. Der Behälter ist bald kugelförmig, bald cylindrisch und bis zu irgend einem Theilstriche des Rohres mit dem Quecksilber vollständig angefüllt. Der cylindrische Raum über dem letzteren ist luftleer.

Durch Erwärmen steigt das Quecksilber über den Theilstrich in dessen Höhe es zuerst beobachtet wurde. Bei'm Erkalten sinkt es unter denselben.

Auf der getheilten Linie, welche die gleichen Abtheilungen des Rohres bezeichnet, der sogenannten Scala des Thermometers sind zwei feste Temperaturpunkte, nämlich der des Schmelze-Eises und der des siedenden Wassers, besonders angemerkt. Der Unterschied zwischen diesen beiden festen Temperaturen ist

rundeinheit des Masses für alle Wärmemessungen. Es ist einleuchtend, dass, so ungleich auch die lineare Entfernung dieser beiden Punkte bei verschiedenen Thermometern seyn mag, die zwischen beiden enthaltene Quecksilbermenge doch stets denselben proportionalen Theil des ganzen Quecksilberinhaltes oder dieselbe Ausdehnungsgrösse ausmachen muss. Dasselbe gilt aber auch für die Hälfte, das Drittel und überhaupt jeden Bruchtheil dieser Länge.

Man pflegt den Raum zwischen beiden festen Punkten nicht in eine willkürliche, sondern durch Uebereinkunft bestimmte Anzahl gleicher Unterabtheilungen oder Grade zu bringen.

Das Celsius'sche Thermometer hat vom Schmelzpunkte bis zum Siedpunkte 100 Grade; das Reaumur'sche 80 Grade. Bei beiden ist der Schmelzpunkt des Eises mit 0 bezeichnet, und von da aus werden die Grade aufwärts und abwärts gezählt. Zur Unterscheidung, wo Zweifel entstehen könnten, setzt man den ersteren das Zeichen +, den letzteren das Zeichen — vor.

Es ist noch eine dritte Thermometerscala, die Fahrenheit'sche (insbesondere in England) gebräuchlich. Bei dieser wird der Schmelzpunkt mit 32, der Siedpunkt mit 212 bezeichnet; zwischen beiden liegen also 180 Grade.

In diesem Buche ist bei Temperatur-Angaben, wo etwas Anderes nicht ausdrücklich bemerkt wird, stets die Celsius'sche oder hunderttheilige Scala gemeint. Reduccionen der drei Thermometerscalen auf einander werden sehr häufig nothwendig. Sie geschehen leicht, indem man sich erinnert, dass $10^{\circ} \text{C.} = 5^{\circ} \text{R.} = 18^{\circ} \text{F.}$ sind, und indem man zu den auf Grade F reducirten Abtheilungen der andern Scalen jedesmal 32 hinzufügt, dagegen von der beobachteten Zahl Fahrenheit'scher Grade vor der Reduccion auf eine der andern Scalen, jedesmal 32 abzieht.

Die Güte und Brauchbarkeit eines Quecksilberthermometers hängt davon ab, ob die Scala unverrückbar und dem Einflusse der Witterung nicht unterworfen ist (am besten wird die Theilung auf dem Thermometerrohr selbst angebracht); ob die Unterabtheilungen genau gleichen Raumtheilen entsprechen (Correctionsmethode von Bessel, Pogg. Ann. 6, S. 287; Schumacher's Astronomisches Jahrbuch für 1843. S. 66); ob der Schmelz- und Siedpunkt richtig angebracht sind (Verrückung des Gefrierpunctes, Pogg. Ann. 16, S. 335); ob sich nirgends zwischen dem Quecksilber Schmutz, Feuchtigkeit oder Luft eingeschlossen hat, endlich ob das Instrument einen genügenden Grad der Empfindlichkeit besitzt.

57. Die Beurtheilung der Temperatur eines Körpers mittelst des Thermometers oder aus der Ausdehnung des Quecksilbers beruht auf dem Erfahrungssatze, dass ersterer mit letzterem in Berührung gebracht, demselben entweder von seiner eigenen Wärme mittheilt, oder auf dessen Unkosten sich selbst erwärmt. Die Masse des Thermometers darf daher immer nur einen kleinen Bruchtheil von derjenigen Masse betragen, deren Temperatur erforscht werden soll.

Mass der Ausdehnung der Körper durch die Wärme

1. Feste Körper.

58. Die Ausdehnung fester Körper durch die Wärme zwischen 0 bis 100° und selbst mehrere Grade unter 0 und über 100° l gehen gleichem Schritt mit der des Quecksilbers im Thermometer. Mit diesen Worten: die Zunahmen des räumlichen Inhaltes fester Körper verhalten sich wie die Zunahmen der Temperatur.

Z. B. eine Messingstange von 540 Linien Länge, bei 0° gemessen, die 0—10° um 0,1 Linie sich verlängert, wird von 0—20° sich um 0,2 Lin. a dehnen, bei —10° wird sie nur 539,9 Linien lang seyn u. s. f.

59. Verschiedene feste Körper dehnen sich zwischen gleichen Temperaturgränzen ungleich stark aus.

Z. B. zwischen 0—100° beträgt die Verlängerung einer Zinkstange $\frac{1}{100}$, einer Glasstange $\frac{1}{1100}$ der Länge bei 0° (Siehe Taf. IV).

Diese ungleiche Ausdehnbarkeit bewirkt, dass verschiedenartige Metallstreifen, die man der Länge nach zusammenlötet, sich bei jeder Temperaturveränderung krümmen, und dass Verbindungen verschiedenartiger fester Körper wie Mauerwerk mit Eisen u. d. m., wenn nicht jeder derselben dem ihm eigenthümlichen Bestreben, sich auszudehnen und zusammenzuziehen, frei nachgehen kann, in keinem dauernden Zusammenhange bleiben können; denn die Ausdehnung und Zusammenziehung fester Körper geht mit einer ausserordentlich grossen, fast unwiderstehlichen Gewalt vor sich. Feste Körper, die bei der Erwärmung verhindert werden sich auszudehnen, verhalten sich gerade so, würden sie durch äussere Kräfte zusammengedrückt; beim Erkalten verdrückt, sich zusammenzuziehen, treten ihre Theile in einen ähnlichen Zustand Spannung, wie er durch dehnende Kräfte herbeigeführt wird. Daher Zerreißen oder doch Vermehrung der Sprödigkeit. Stahl durch das Härten, auch Eisen durch rasches Abkühlen werden specifisch leichter und spröde (Glasthränen). Ungleiche Erwärmung und dadurch ungleiche Ausdehnung an verschiedenen Stellen desselben Körpers bewirkt häufig Störung des Zusammenhanges, z. B. bei Glasgefässen.

60. Man hat hauptsächlich die Längenausdehnung fester Körper gemessen. Eine genaue Bestimmung derselben wird dadurch erschwert, weil die zu messende Veränderung immer nur einen kleinen Bruchtheil der anfänglichen Länge ausmacht und weil, während die Temperatur des zu prüfenden Körpers erhöht wird, die Masse des Massstabes unverändert bleiben muss. Man hat übrigens diese Schwierigkeiten auf verschiedene Weise zu begegnen gesucht. (Gehl. 1, S. 553.)

- a) Die Stange, deren Ausdehnung gemessen werden soll, hängt in wagerechter Lage in einem Troge, der Wasser oder Oel enthält und durch darunter gesetzte Spirituslampen ermärmt werden kann. Parallel damit befindet sich auf demselben Gestelle ein zweiter Trog und darin ein Stab von Eisen, welcher als unveränderliche Grundlage dienen soll und daher mit schmelzendem Eisen fortdauernd umgeben bleibt. Von diesem Stabe gehen winkelrecht daran befestigte Arme nach dem andern Troge hin. Zwei halten die zu prüfende Stange, und der erste dient zugleich als feste Unterlage für dieselbe. Der dritte trägt eine Mikrometerschraube, welche in der Richtung der Stange, einem vom Ende der letzteren aufgerichtet

Stücke genähert, oder davon entfernt werden kann. Mittelst dieser Schraube, wenn ihre Gänge ganz gleichförmig sind, und man genau weiss, wie viele z. B. auf die Länge eines Zolles gehen, lässt sich die Ausdehnungsgrösse für eine beliebige Anzahl Temperaturgrade messen und als Bruchtheil der bekannten Länge der Stange bei 0° in Rechnung bringen.

- b) Zwei Stangen von verschiedenem Stoffe, z. B. Platin und Kupfer, aber von gleicher Länge, werden auf einander gelegt und am einen Ende unverrückbar erhalten. Bei veränderter Temperatur werden beide nicht mehr gleich lang seyn. Der Unterschied zeigt an, um wie viel die eine Stange sich stärker ausdehnt als die andere. Kennt man daher das Ausdehnungsgesetz von nur einer Stange, so ergibt sich das der andern durch einfache Addition oder Subtraction. Um die immer nur kleinen Längenunterschiede bequem und genau messen zu können, ragt an dem verrückbaren Ende jeder Stange ein winkelrecht aufsteigender Arm aus dem Bade, worin beide Stangen gleichförmig erwärmt werden, hervor. Diese Arme tragen in wagerechter Lage zwei kleine neben einander herlaufende Massstäbe, von welchen der eine den Nonius des andern bildet.

Angenommen, beide Stangen sind bei 0° gleich lang und ihre Längenverschiedenheiten bis zu gewissen Temperaturgränzen, z. B. bis 20° unter 0 u. 30° über 0 sind gemessen, so lässt sich rückwärts aus dem Stande beider Theilungen neben einander, auf die Höhe der Temperatur schliessen. Diese Verrichtung bildet also eine Art Thermometer. Borda's Massstab.

- c) Das eine Ende der in wagerechter Lage in ein Bad gesenkten Stange lehnt sich gegen eine feste Widerlage, das andere Ende drückt auf den kurzen Arm eines Zeigers, der um eine feste Axe drehbar ist, so dass die entsprechenden Verrückungen des langen Armes hinlänglich vergrössert sind, um (zumal mit Zuziehung des Nonius) eine sehr genaue Messung zu gestatten. Ist der hierzu erforderliche Massstab weit genug entfernt, oder hat man auf andere Weise Sorge getragen, um seine Temperatur unverändert zu erhalten, kennt man ferner das Verhältniss beider Arme des Zeigers, und ist der Abstand seiner Axe von der festen Widerlage unveränderlich, d. h. stützen sich beide Punkte auf eine unveränderliche Grundlage, z. B. auf eine kalt erhaltene Platte oder auf den Erdboden selbst, so sind wiederum alle Erfordernisse zu einer genauen Messung der Ausdehnung erfüllt (Biot 1, S. 146).

Man hat ausser den angeführten noch andere Methoden erdonnen, die Längenausdehnung fester Körper zu bestimmen. Im Allgemeinen kann jede Messung, welche mit der Ausdehnung eines Körpers in einer festen und bekannten Beziehung steht, ein Hülfsmittel werden, die letztere zu finden.

61. Aus der bekannten Längenausdehnung eines festen Körpers lässt sich seine räumliche Ausdehnung finden, indem man die erstere mit 3 multiplicirt.

Bedeutet nämlich n die Ausdehnungsgrösse für die Längeneinheit und etwa für 1° C vom Schmelzpunkt des Eises an gerechnet, so ist $1(1+n)$ die Veränderung der Länge l , und $V(1+n)^3 = V(1+3n+3n^2+n^3)$ die Aenderung des räumlichen Inhaltes V für einen Thermometergrad. Da nun n stets ein sehr kleiner Bruch ist, so wird der wahre Inhalt für 1° über 0 hinlänglich genau durch $V(1+3n)$ ausgedrückt. Z. B. die lineare Ausdehnung des Glases beträgt zwischen 0—100°, $\frac{1}{1141}$ der Länge bei 0°; die körperliche Ausdehnung ist $\frac{1}{1141} = \frac{1}{387}$.

Diese Regel gilt nur für solche Stoffe, die sich nach jeder Richtung gleichförmig ausdehnen, wie für gegossene Metalle und Glas. Viele krystallisirte Körper aus den ungleichaxigen Systemen dehnen sich in der Richtung ihrer verschiedenen Axen ungleich aus. Ihre Volumenausdehnung kann folglich nicht durch Rechnung ermittelt werden.

59. Der Bruch, welcher zwischen gewissen Temperaturgränzen (z. B. 0—100°) das Verhältniss der Ausdehnung eines Kör-

pers zu seiner anfänglichen Grösse ausdrückt, wird Ausdehnungscoefficient genannt. Kennt man den Ausdehnungscoefficienten eines Körpers, so lässt sich die Grösse der Ausdehnung aller Körper von gleichartigem Stoffe durch Rechnung bestimmen.

Z. B. der Ausdehnungscoefficient des Messings, $\frac{1}{54000}$, sagt, dass eine Messingstange von 54,000 Linien Länge, bei 0° gemessen, für jeden Temperaturgrad auf oder ab sich um 1 L. verlängert oder verkürzt, folglich bei t° seyn wird $54000 + t$. Eine andere Stange von der Länge l bei 0° gemessen, muss sich also in demselben Verhältnisse verlängern wie $54000 : 54000 + t$.

Diese Rechnung kommt bei allen genauen Längenmessungen vor, indem der gebrauchte Massstab nur für eine gewisse Temperatur richtig seyn kann. Der Pariser Fuss z. B. hat seine wahre Länge bei 16°,25. Eine Länge l bei t° gemessen, erfordert daher eine Berichtigung, die sich aus der Betrachtung ergibt, dass

$$54000 + 16,25 : 54000 + t = 1 : (x = \frac{(54000 + t) l}{54000 + 16,25})$$

Der räumliche Inhalt der Hohlmasse, so wie aller Gefässe wechselt auch mit der Temperatur. Der direct gemessene Inhalt wird daher häufig nur einen scheinbaren ausdrücken. Wie gross ist z. B. der wahre Rauminhalt eines Glasgefässes bei t°, wenn derselbe bei T°, V. C. C. betragen hat? Dies wird beantwortet durch die Proportion: $38700 + T : 38700 + t = V : x$.

63. Wenn feste Körper bis gegen 150° hin oder darüber erwärmt, oder auch unter — 20° abgekühlt werden, sohalten die Aenderungen ihres räumlichen Inhaltes weder unter einander, noch mit der des Quecksilbers im Thermometer gleichen Schritt; sie sind nicht mehr durch das Quecksilberthermometer gemessenen Temperaturen proportional.

Z. B. die Ausdehnung des Glases beträgt zwischen 0—100°: $\frac{1}{1101}$, zwischen 100—200°: $\frac{1}{1030}$, zwischen 0—300°: $\frac{1}{640}$ der bei 0° gemessenen Länge. Der Ausdehnungscoefficient des Glases nimmt also bei hohen Temperaturen an Grösse zu. Ein ähnliches Verhalten ist bei andern festen Körpern beobachtet worden.

64. Auf der Ausdehnung der Metalle beruhen mehrere thermometrische Vorrichtungen, die sogenannten Metallthermometer. Sie bestehen theils aus einem einzigen, theils aus zwei verschiedenartigen, der Länge nach zusammengelötheten, dünnen, spiralförmig gewundenen Metallstreifen, die an einem Ende befestigt sind, am andern mit einem im Kreise beweglichen Zeiger in Verbindung stehen. Man pflegt sie nach den Anzeigen des Quecksilberthermometers zu graduiren. Die nach den Vorschriften von Breguet *), Holzmann, Urban Jürgensen **) gefertigten sind die bekanntesten. Sie haben gewöhnlich das Format von Taschenuhren. Da sie eine ziemlich grosse Empfindlichkeit besitzen, so werden sie zuweilen benutzt, um rasch wechselnde Temperaturen zu erfassen.

65. Wenn Metallthermometer bestimmt sind, vorzugsweise hohe Temperaturen zu messen, so erhalten sie den Namen Pyrometer-

*) Schweigg. Journ. XXXII. Nr. 497; auch Gehl. B. 9, S. 990.

**) Urban Jürgensen, allgemeine Grundsätze der genauen Zeitmessung, Leipzig 1840.

Für die Messung von Temperaturen über 400° wird das Quecksilberthermometer unbrauchbar, weil das Glas in stärkerer Hitze zu erweichen beginnt. Man hat daher mancherlei Vorrichtungen erdnen, um diesen Mangel zu ersetzen. Zu den besseren Pyrometern gehört das Daniell'sche. Es besteht aus einer Stange von Platin oder Eisen, die in einer Hülse von Graphit oder Porzellan eingeschlossen ist, welche man unmittelbar der zu prüfenden hohen Temperatur aussetzt. Das eine Ende des Platins ruht auf dem Boden der Hülse, das andere drückt auf eine Porzellanstange, die gleichsam die Verlängerung der Platinstange bildet. Da sich Platin stärker ausdehnt als Graphit und Porzellan, so schiebt es durch Erhöhung seiner Temperatur die Porzellanstange vorwärts. Unmittelbar aus der veränderten Lage der letzteren, oder mittelbar aus der Bewegung eines Zeigers, auf dessen einen Arm die Porzellanstange drückt, lässt sich dann die eingetretene Veränderung der Temperatur erkennen (Pogg. Ann. 39, S. 577). Pyrometer können wohl geeignet seyn, um gewisse Hitzgrade mit Sicherheit wiederzufinden. Die Anzeigen der bis jetzt bekannten derartigen Werkzeuge gestatten jedoch keine ganz sicheren Vergleichen mit den Graden des Quecksilberthermometers.

2. Tropfbare Flüssigkeiten.

66. Verschiedene Flüssigkeiten dehnen sich ungleich stark aus, und die Vermehrungen ihres Volums verhalten sich (selbst zwischen 0 — 100°) nicht wie die mit dem Quecksilberthermometer gemessenen Temperaturzunahmen.

Thermometer aus verschiedenen Flüssigkeiten verfertigt, bei welchen allen der Raum zwischen den beiden festen Punkten in 100 gleiche Grade getheilt ist, geben daher keine übereinstimmenden Resultate. Für ganz gleiche Temperaturen erhält man z. B. mittelst eines Thermometers aus

Quecksilber.	Alkohol.	Olivensöl.	Wasser.	Gesättigtem Salzwasser.
100	100	100	100	100
75	70,25	74,1	57,25	71,4
50	44	49	25,6	45,4
25	20,6	24,1	5,1	21,6
0	0	0	0	0

Thermometer, bei welchen als Flüssigkeit Weingeist angewendet wird, Weingeistthermometer, gebraucht man häufig. Es ist nun einleuchtend, dass ein solches Werkzeug, um mit dem Quecksilberthermometer vergleichbare Anzeigen geben zu können, nicht in gleiche Grade eingetheilt werden darf. Das Weingeistthermometer wird hauptsächlich zur Messung sehr niedriger Temperaturen benutzt, weil concentrirter Weingeist nicht friert.

67. Um das Ausdehnungsgesetz einer Flüssigkeit zu erforschen, gibt es im Allgemeinen zwei Wege:

- 1) Eine gewisse Menge derselben, deren räumlicher Inhalt bei irgend einer Temperatur, etwa bei 0°, bekannt ist, wird nach und nach verschiedenen Temperaturen ausgesetzt und die jedesmalige Raumvergrößerung gemessen. Das Verhältniss der Ausdehnung zum anfänglichen Volume ergibt sich auf diese Weise unmittelbar.

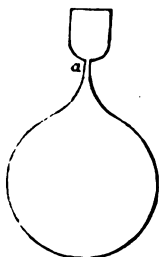
Beispiel: Man hat ausgemittelt, dass der Inhalt des Behälters eines Queck-

silberthermometers bis zum 0Puncte hin 65mal so gross ist, als der cylindrischen Rohres vom Schmelzpunkte bis zum Siedpunkte. 65 Quecksilber, bei 0° gemessen, nehmen folglich bei 100° den Raum oder die Ausdehnung des Quecksilbers zwischen beiden Gränzen des anfänglichen Umfangs.

- 2) Die Dichtigkeit der Körper wird in demselben Verhältniss geringer, als ihr Rauminhalt sich vergrössert. Das Verhältniss der Dichtigkeit einer Flüssigkeit bei verschiedenen Temperaturen ist folglich das umgekehrte ihrer Dichtigkeit bei denselben Temperaturen veränderten Volume, d. h. n. die Ausdehnung eines flüssigen Körpers zwischen zwei Temperaturen, indem man sein specifisches Gewicht der niedrigsten durch dasjenige bei der höchsten dividirt.

Beispiel: Ein Glasgefäss, wie Fig. 5 gestaltet und von bekanntem Rauminhalte wird bis zum Puncte a, wo der äussere Trichter sich

Fig. 5



sehr engen Oeffnung zusammenzieht, mit kaltem Wasser gefüllt. Die Menge betrage 124 Grm. Dieses Gefäss wird hierauf in einem geeigneten Bade einer höheren Temperatur, z. B. der von 100° so lange ausgesetzt, als von dem Puncte a die Flüssigkeit durch die Oeffnung bei a austritt. Der Trichter innen anhängenden Flüssigkeit befreit, das Gefäss wird trocken und wieder gewogen, findet man nur 118 Grm. 118 Raumtheile haben sich in 124, oder jeder Raumtheil vergrößert. Die Ausdehnung des Wassers zwischen 0° und 100° beträgt $\frac{1}{118}$ des Rauminhaltes bei 0°.

Wenn das Ausdehnungsgesetz einer Flüssigkeit bekannt ist, so lässt sich aus den Gewichten eines Volumens derselben bei zwei verschiedenen Temperaturen der Unterschied der letzteren berechnen. Gewichtsthermometer.

68. Die beobachtete Volumsvergrößerung der Flüssigkeit in Gefässen entspricht nicht ihrer wahren Ausdehnung; dieselbe ist immer etwas grösser; um so viel nämlich, als die Ausdehnung des Gefässes selbst beträgt.

Z. B. der Ausdehnungscoefficient des Glases $\frac{1}{65} = 0,00255$ d. h. dass die Einheit des Rauminhaltes eines Glasgefässes, durch Erhöhung der Temperatur von 0 zu 100° sich verändert in 1,00255. 65 Raumtheile Quecksilber in einem Glasgefässe von 0—100° erwärmt, werden folglich nicht 66 (1,00255), d. h. $66 + 66 (0,00255)$; die entsprechende Ausdehnung des Quecksilbers ist mithin

$$\frac{1}{65} + \frac{66 (0,00255)}{65} = 0,0154 + 0,0026 = 0,018.$$

0,0154 nennt man den scheinbaren, 0,018 den absoluten Ausdehnungscoefficienten des Quecksilbers.

Es sey im Allgemeinen α die scheinbare Ausdehnung einer Einheit eines flüssigen Körpers, so wird dessen wahre Ausdehnung bestimmt, indem man den scheinbaren Raum $1 + \alpha$ mit dem Ausdehnungscoefficienten der Gefässmaterie (bei'm Glase mit $\frac{1}{65}$) multiplicirt und dieses Product zu α addirt.

69. Das Wasser unterscheidet sich von andern Flüssigkeiten durch die merkwürdige Eigenschaft, dass es sich bei'm

nur bis zu der Temperatur von 4° zusammenzieht, dann aber wieder ausdehnt; folglich bei 4° eine grösste, bei den Temperaturen von 1° und 8° aber ungefähr gleiche Dichtigkeit besitzt. Diese Eigenthümlichkeit des Wassers ist in dem Haushalte der Natur von sehr grosser Bedeutung.

Wenn das Wasser irgend ein Salz aufgelöst enthält, so liegt die Temperatur seiner grössten Dichtigkeit stets niedriger als 4° , z. B. im Meerwasser, das bei 0° nicht friert, liegt sie schon mehrere Grade unter 0 . Auch reines Wasser lässt sich bei Temperaturen unter 0 ja selbst bis zu -10° im flüssigen Zustande erhalten, indem es mit der sinkenden Temperatur stets sein Volum vergrössert.

1 Kub. Cent. Wasser im Zustande seiner grössten Dichtigkeit bildet unter dem Namen Gramme die Einheit des französischen Gewichtssystemes. (Ueber die Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten siehe Tafel IV.)

Wasser und Quecksilber, deren Ausdehnungsgesetze bei den gewöhnlich vorkommenden Temperaturen sehr genau bekannt sind, werden häufig angewendet, um den Inhalt der Glasgefässe zu messen. Man wiegt zu dem Ende das Gefäss zuerst leer, füllt es hierauf mit der Flüssigkeit bei einer bekannten Temperatur an, und wiegt wieder. Aus der Gewichtszunahme lässt sich dann der Inhalt berechnen. Beispiel: Das Glasgehäuse eines Thermometers wog $10,8$ Grm.; mit Quecksilber bei 15° gefüllt, $37,427$; Quecksilberinhalt $37,427 - 10,8 = 26,627$ Grm. *). Ein Kubikcentimeter Quecksilber von 0° wiegt $13,598$ Grm.; die wahre Ausdehnung des Quecksilbers beträgt für jeden Thermometergrad $0,00015$ des Volums bei 0° ; $13,598$ Grm. werden daher bei 15° den Raum von $1 + 0,00015 \cdot 15 = 1,00227$ C. C. einnehmen. Obige $26,627$ Grm. entsprechen demnach einem Rauminhalte von $1,9634$ C. C. bei der Temperatur von 15° .

Bei geräumigeren Gefässen kann man als Messflüssigkeit chemisch reines Wasser benutzen, verfährt übrigens dabei auf ähnliche Weise wie vorher. Da sich das Wasser sehr unregelmässig ausdehnt, so genügt es jedoch nicht, das Gewicht von 1 C. C. desselben bei 0° zu kennen, sondern es bedarf einer Tabelle, worauf das specifische Gewicht dieser Flüssigkeit für jeden Temperaturgrad bemerkt ist. (Siehe Tafel III, 2.)

Ist die Einmündung eines Gefässes zu enge, um die Flüssigkeit unmittelbar eingiessen zu können, wie bei den Thermometerröhren, so verbindet man mit dieser engen Oeffnung auf passende Weise einen weiteren offenen Behälter. Man setzt z. B. (Fig. 6) mittelst eines Korkstüpsels ein weiteres Glasrohr an. Bringt man in dieses das Wasser oder Quecksilber, und erwärmt den unteren Behälter, so dehnt sich die enthaltene Luft aus und entweicht zum Theil. Sie wird beim Erkalten durch eine entsprechende Menge Flüssigkeit ersetzt. Von Neuem bis zum Sieden erhitzt, bilden sich Dämpfe, die bald alle Luft vertreiben, so dass bei abermaligem Abkühlen der ganze innere Raum sich mit der Flüssigkeit anfüllt.

Der Rauminhalt eines Glasgefässes wird aus dem Gewichte der darin enthaltenen Flüssigkeit nur für eine bestimmte Temperatur gefunden. Wiederholt man den Versuch bei einer andern Temperatur, und darf man die absolute Ausdehnung des Quecksilbers zwischen beiden Temperaturen als ganz genau bekannt voraussetzen, so lässt sich daraus die räumliche Erweiterung des Glasgefässes zwischen denselben Temperaturgränzen be-

Fig. 6.



*) Da das von Quecksilber leere Gehäuse Luft enthält, so muss deren Gewicht eigentlich in Abzug gebracht werden. Auf welche Art dies geschieht, kann jedoch erst später gezeigt werden.

rechnen. Man hat auf diese Weise gefunden, dass der Ausdehnungscoefficient für verschiedene Glasarten und sogar für dieselbe Glasart bei verschiedener Form der Gefässe und Dicke der Wände nicht ganz gleich ist. (Regnault & Pogg. Ann. 55, S. 584.)

3. Ausdehnsame Flüssigkeiten.

70. Die Ausdehnung der Luft und der Gase im Allgemeinen kann auf ähnliche Weise, wie die der tropfbaren Flüssigkeiten, gemessen werden. Man hat gefunden, dass zwischen dem Schmelzpunkte des Eises und dem Siedpunkte des Wassers die Volumsvermehrung der Gase mit der des Quecksilbers im Thermometer gleichmässig fortschreitet, oder für je gleiche Temperaturunterschiede einen gleichen Bruchtheil des Volums bei 0° ausmacht; dass die Ausdehnung ein und desselben Gases und zwischen denselben Temperaturgränzen (z. B. zwischen 0 bis 100°) von seiner anfänglichen Dichtigkeit unabhängig ist; dass alle gasförmigen Körper zwischen gleichen Temperaturgränzen sich gleich stark ausdehnen. Der Ausdehnungscoefficient der Gase beträgt nach den neuesten Bestimmungen für jeden Grad des hunderttheiligen Thermometers $0,003665 = \frac{1}{273} = \frac{1}{3000}$ des Umfanges bei 0° (Magnus, Regnault).

Das Gesetz der gleichförmigen Ausdehnung aller Gase, sowie desselben Gases bei ungleicher Dichte, scheint nach den Ergebnissen der neuesten Versuche nur annähernd wahr zu seyn. Denn man hat gefunden, dass der Ausdehnungscoefficient mehrerer Gase, als man sie im Zustande einer grösseren anfänglichen Dichte prüfte, um einen, wenn auch äusserst geringen, Betrag ungenommen hatte; ferner, dass Sauerstoff sich etwas stärker ausdehnt, als der weit feinere Wasserstoff, dass aber insbesondere kohlen-saures und schwefel-saures Gas (welche durch starken äusseren Druck flüssig gemacht werden können) einen ziemlich bemerkbar grösseren, mit der Dichtigkeit zunehmenden Ausdehnungscoefficient besitzen.

Alle diese Beobachtungen sind jedoch mit Gasen gemacht worden, die in Glasgefässen eingeschlossen waren. Das Glas äussert gegen die meisten dieser Stoffe eine beträchtliche, bei zunehmender Temperatur abnehmende Adhäsion, d. h. kleine Antheile derselben verdichten sich auf der Oberfläche des Glases, wenn die Temperatur niedrig ist, und verflüchtigen sich wieder beim Erwärmen. Fänden jene beobachteten Unregelmässigkeiten ihren Grund nicht in diesem zufälligen Umstande, so sollte man eher erwarten, dass die feineren Gasarten, nicht aber dass gerade die dichtesten sich am stärksten ausdehnen.

Zwischen den Theilen der ausdehnsamen Flüssigkeiten schelnt jede Spur einer gegenseitigen Anziehung verschwunden zu seyn. Ihr Bestreben, sich von einander zu entfernen, muss daher in demselben Verhältnisse zunehmen, als die Ursache dieses Bestrebens, nämlich die Dichtigkeit der aufgenommenen Wärme, mit einem Worte, als die Temperatur (44) sich vermehrt. Der Grund der grossen Uebereinstimmung im vorher erwähnten Verhalten aller gasförmigen Körper und bei jeder Dichte derselben, bei welcher der elastisch flüssige Zustand (40) sich erhält, fliesst hieraus als eine nothwendige Folge.

Die Stärke, womit sich feste und flüssige Körper ausdehnen, ist das Resultat einer zusammengesetzten Einwirkung, nämlich der durch Wärmeaufnahme vermehrten Expansionskraft und des Widerstandes der Cohäsion. Der Zusammenhang der Theile wird durch vermehrten Wärmezufuss, ähnlich wie durch angehängte Gewichte (35), allmählig aufgehoben; diess kann jedoch auf kein

enden Dichtigkeit der Wärme genau proportionale Weise geschied die gegenseitige Anziehung der Körperatome auch durch Verdes Abstandes vermindert. Es ist demnach vorauszusehen, dass der ρ coefficient fester und flüssiger Körper mit der Temperatur wachsen

die Volumserweiterungen gasförmiger Körper durch die o weit sie sich unabhängig von zufälligen fremdartigen o beobachten lassen, der wirklichen Zunahme der Wärmeit genau proportional seyn müssen, so betrachtet man is sicherste Mittel, die wahre Höhe der Temperatur zu n. Vorrichtungen zu diesem Zwecke geeignet, werden mometer genannt.

die Luft als thermometrische Flüssigkeit auf mancherlei Weise angesucht. Um von dieser Anwendung eine deutliche Vorstellung zu ügt die Beschreibung des folgenden Verfahrens. Ein cylindrisches on 2 bis 3 Kubikzoll Inhalt, etwa 1 Zoll weit, 4 Zoll lang, ist am zugeschmolzen, am andern ist ein Haarrohr angelöthet, das zu eipitze ausgezogen ist (Fig. 7.).

Fig. 7.



o gebildete Behälter, mit ganz trockner Luft angefüllt, wird der v, die gemessen werden soll, ausgesetzt, und wenn man sicher durch die feine Oeffnung keine Luft mehr entweicht, diese mittelst ne einer Spirituslampe zugeschmolzen. Sobald der Apparat die ge- Temperatur wieder angenommen hat, taucht man zuerst nur das in Quecksilber und bricht die Spitze ab, worauf das flüssige Me- t innern Raum eindringt. Man senkt dann auch das weitere Rohr, ise als die Flüssigkeit darin steigt, tiefer ein, bis endlich der äus- nnerer Metallspiegel bleibend in derselben Ebne liegen. Die einge- Luft hat nunmehr mit der Temperatur auch die Dichtigkeit der äus- angenommen. Man drückt jetzt die offene Spitze des Behälters mit- geeigneten Vorkehrung in Wachs ein, damit während des Heraus- ein Quecksilber ausfließen kann. Man bestimmt das Gewicht des enen Metalls, füllt endlich den ganzen inneren Raum mit Quecksilber egt wieder. Die gesuchte Temperatur lässt sich aus beiden Wägun- men. Das Luftthermometer war z. B. dem Dampfe des siedenden ausgesetzt worden. Später bei 13° Temperatur unter Quecksilber aren 317 Grm. eingedrungen. Der ganze Rauminhalt entsprach 610 Grm. r bei 13° . Also $610 - 317 = 293$ Volumtheile Luft von 13° waren ge- 0 Volumtheile bei einer unbekanntem Temperatur. Nun weiss man, olumtheile bei 0° , für jeden Grad Temperaturerhöhung ihren Umfang ehren, daher bei 13° sich in $273 + 13$, bei x° sich in $273 + x$ verwan- st folglich: $293 : 610 = 273 + 13 : 273 + x$, woraus gefunden wird

eine Berichtigung erfordert die Ausdehnung des Glases, denn der innere lder erhöhten Temperatur ist nicht 610, sondern $610(1 + 0,00026 \cdot x)$. Lussac's Luftthermometer zu vgl. Annales de Chy. et de Phy. 51. 435. r. Ann. 27. S. 681. Dulong's Luftthermometer. Ann. de Chy. et de 20. Mitscherlich's Luftthermometer, Pogg. Ann. 29. 203. Luftthermometer zur Bestimmung sehr hoher Temperaturen brauch- chen, kann man den Glasbehälter mit einem ähnlichen von Platin ver- Pouillet's Luft-Pyrometer. (Pogg. Ann. 39. 567.)

fenn man die Ausdehnung der Körper mit den Graden des perimentalphysik.

Luftthermometers oder mit der sogenannten wahren Temperaturzunahme vergleicht, so bemerkt man bei allen ohne Ausnahme ein allmähliges, mit der steigenden Temperatur immer rascheres Wachsen des Ausdehnungscoefficienten, ganz so wie es sich aus theoretischen Gründen voraussehen lässt.

Setzt man z. B. die Menge des Quecksilbers im Thermometer bei 0° gleich 648 Raumtheilen, so beträgt die scheinbare Ausdehnung desselben für jeden Grad des Quecksilberthermometers 1 Raumtheil, weil man sämtlichen Temperaturgraden gleichen räumlichen Inhalt gegeben hat. Vergleicht man aber damit die Zuwachse, welche 273 Raumtheile Luft, bei 0° gemessen, erhalten, wenn man sie gleichzeitig mit dem Quecksilberthermometer, nach und nach wechselnden Temperaturen aussetzt, so findet man als Ausdrücke für die wahre Temperatur (Dulong und Petit, neuerdings von Magnus bestätigt) die folgenden Zahlenwerthe:

Quecksilberthermometer.	Luftthermometer.
— 36	— 36
0	0
100	100
130	129,92
150	148,70
200	197,05
250	245,05
300	292,70
360	350,00

Man sieht hieraus, dass das Quecksilberthermometer nur zwischen — 36° und 130° dem eigentlichen Begriffe der Temperatur entsprechende Anzeigen liefert. Die Tabelle verschafft aber die Möglichkeit, alle mit dem Quecksilberthermometer beobachteten scheinbaren Temperaturen auf ihren wahren Werth, nämlich auf Grade des Luftthermometers, zurückzuführen. Zu diesem Zwecke hat August nachstehende Formel berechnet:

$$t = t' - \frac{1}{4} a (0,09 + 0,00028 a)$$

worin t die wahren, t' die beobachteten Temperaturgrade bedeutet und $a = t' - 100$. Die Ausdehnungen anderer Flüssigkeiten entsprechen noch weit weniger, als die des Quecksilbers, den wahren Temperaturzunahmen (63).

Wollte man die Temperaturen den Längenzunahmen irgend eines festen Körpers proportional setzen, so würden die Abweichungen von der wahren Temperatur gewöhnlich ebenfalls weit grösser werden, als diese bei dem Quecksilber der Fall ist; z. B. 300° des Luftthermometers bezeichnen nach Dulong dieselbe Temperatur, wie 353° des Glasthermometers, wie 373° eines Eisenthermometers, wie 329° eines Kupferthermometers oder wie 312° eines Platinthermometers. Hätte man nämlich als thermometrische Substanz z. B. eine Glasart gewählt, deren mittlerer Ausdehnungscoefficient zwischen 0 — 100° für jeden Grad $\frac{1}{118100}$ beträgt, so würde man finden, dass ihre Verlängerung für 300° wahre Temperaturgrade nicht $\frac{300}{118100}$, sondern $\frac{353}{118100}$ ausmacht. Man weiss dies daher, weil der mittlere Ausdehnungscoefficient des Glases zwischen 0 — 300° für jeden Grad $\frac{1}{68700}$ beträgt und weil $\frac{300}{68700} = \frac{353}{118100}$.

Von der Wärmecapazität der Körper.

73. Nach der Vorstellung, dass die Wärme eine Materie ist, muss jeder Körper, indem er seine Temperatur bis zu einem gewissen Grade erhöht, eine gewisse Menge dieser Materie in einem Umfange aufnehmen.

Die Wärmemenge, welche die Gewichtseinheit des Wasser aufnehmen muss, um von der Temperatur 0° auf die von 1° zu

werden und überhaupt jede andere gleich grosse Wärmeeinheit genant.

Die Temperatur des Wassers ändert sich sehr nahe proportional der Anzahl Wärmeeinheiten, welche jede Gewichtseinheit aufgenommen oder abgegeben hat.

Wenn man in einem geräumigen Gefässe, am besten von Holz, welches sehr wenig ableitet, 100 Pfund Wasser, etwa von 0° , mit 100 Pfund Wasser von 90° vermischt, werden stets 200 Pfund von mittlerer Temperatur im Falle von 45° erhalten.

Man kann hiernach sehr leicht im Voraus berechnen, welche Temperatur man erhalten wird, wenn man gewisse Mengen kalten und warmen Wassers erhält. Beispiele: 30 Pfund Wasser von 80° oder 2400 Wärmeeinheiten und Wasser von 11° oder 2200 W. E. zusammengebracht, geben die Temperatur von 20° , weil in diesem Falle $30 + 200 = 230$ Pfund sich in $0 = 4600$ W. E. theilen müssen. Es ist aber $\frac{4600}{230} = 20$.

Wenn man durch Vermischen von Wasser von 8° (t°) mit Wasser von 100° (t°) Kubikfuss (V) Badewasser von 34° (t°) gebildet werden. — Jede Gewichtseinheit des kalten gewinnt 26 W. E., jede des heissen verliert 66 W. E. Ein Theil heisses kommen $\frac{66}{26}$ kaltes, oder auf je 92 Badewasser heisses und 66 kaltes. Es ist daher $92 : 26 = 1000 : (x = 282,6 \text{ K. F.} = 100^{\circ}$.

Man betrachtet kann man setzen: $Vt' = x T + (V - x) t$, woraus

Die gleiche Gewichtsmengen desselben Stoffes, die ungleich sind und die man untereinander mengt, nehmen, wenn die Temperaturverschiedenheit nicht sehr gross war, eine Temperatur, welche ganz so wie man es bei dem Wasser findet, die arithmetische Mittlere der Anfangstemperaturen ist. Vermengt man ungleichartige Stoffe, so zeigen sich ganz andere und abweichende Verhältnisse.

Beispiel: Ein Pfund geläutertes Brennöl von 16° , mit 1 Pfund Wasser von 80° gibt nicht eine Mitteltemperatur von $\frac{16 + 80}{2} = 48^{\circ}$, sondern von $58,7$

und Quecksilber von 16° mit 1 Pfund Wasser von 81° gemischt, nehmen man erwarten möchte, die Temperatur von 22° , sondern die von

Beispiel: man 468 Grm. Wasser von $10^{\circ},7$ mit 77,4 Grm. weissem Glas von $98^{\circ},7$ mischt, bis eine ganz gleichförmige Temperatur eingetreten ist, so beträgt die Temperatur $23,2$, während die arithmetische Mittelzahl $\frac{468 \cdot 10,7 + 77,4 \cdot 98,7}{468 + 77,4} = 23,2$

Die verschiedenen Körper bedürfen also bei gleichem Gewichte ungleicher Wärmemengen zu derselben Temperatur erhoben zu werden.

Diejenige Wärmemenge, durch deren Aufnahme die Temperatur eines Körpers um einen Temperaturgrad erwärmt wird, nennt man eine Wärmeeinheit oder Theilen der Wärmeeinheit ausgemessen man seine Wärmecapacität, wohl auch seine spezifische Wärme.

Die Wärmecapacität verschiedener Körper ist sehr ungleich.

Beispiele: Um ein Pfund Oel von 16° auf $58^{\circ},7$ zu bringen, oder um selb. Temperatur um $42^{\circ},7$ zu erhöhen, sind $(72) 80 - 58,7 = 21,3$ W. E. nöthig gewesen. Die Wärmecapacität des Oels entspricht also $\frac{1}{21,3} = \frac{1}{42,7}$, oder einer halb W. E., da doch die des Wassers einer ganzen W. E. entspricht.

15 W. E. (nämlich $81^{\circ} - 66^{\circ} = 15^{\circ}$, die 1 Pfund Wasser verlor) vermag die Temperatur von 10 Pfund Quecksilber um 50° , oder die von 1 Pfund u. 500 $^{\circ}$ zu vermehren. Daher die Wärmecapacität des Quecksilbers = $\frac{1}{500} = 0,002$ Wärmeeinheit.

Durch die Wärme, welche 77,4 Grm. Glas einbüßen, indem sie ihre Temperatur um $98,7 - 13,5 = 85,2$ erniedrigen, können 468 Grm. Wasser von 10° auf $13^{\circ},5$ gebracht, d. h. um $2^{\circ},8$ erwärmt werden, was $468 \cdot 2,8 = 1310,4$ W. E. gleichkommt. Daher $77,4 \cdot 85,2 \cdot x = 1310,4$; woraus man findet die Wärmecapacität des Glases $x = 0,198$.

Das angedeutete Verfahren, die eigenthümliche Wärme eines Körpers zu messen, indem man eine bekannte Gewichtsmenge desselben zu einer bekannten Temperatur erwärmt, dann mit einer abgewogenen Menge Wasser, ebenfalls von bekannter Temperatur, vermischt und die eintretende mittlere Temperatur misst, wird die Methode der Mischungen genannt.

Eine allgemeine Uebersicht der hierbei nöthigen Berechnungen gewährt die Formel $M(T-t) \cdot x = M'(t-T')$, worin M und M' die Gewichtsmassen beider Körper, T und T' die zugehörigen Temperaturen, t die Temperatur nach der Mischung vorstellen.

Ausführlicheres über die Methode der Mischungen findet man in Pogg. An. B. 51. S. 57, dann B. 53. S. 64 (Regnault). Ebendasselbst Bd. 23. S. 1 und S. (Neumann).

77. Die Zahlen, welche das relative Verhältniss der Wärmemengen ausdrücken, die von gleichen Gewichten verschiedener Körper aufgenommen werden müssen, wenn ihre Temperatur je um einen Grad, oder im Allgemeinen je um eine gleiche Anzahl Grade erhöht werden soll, nennt man die specifischen Wärmen dieser Körper.

So ist die spec. Wärme des Wassers zwischen $0 - 20^{\circ} = 1$; die des Oels $= 0,5$; die des Quecksilbers $= 0,03$; die des Glases $= 0,198$. (Tafel V.)

Wenn die spec. Wärme eines Körpers bekannt ist, so findet man die Anzahl Wärmeeinheiten, wodurch ein gegebenes Gewicht desselben um einen Grad erwärmt wird, indem man dieses Gewicht mit der spec. Wärme multiplicirt. Das so erhaltene Product bezeichnet den Wasserwerth des Körpers, d. h. die Gewichtsmenge Wasser, welche bei der Mischung denselben Wirkungswerth hat wie die vorhandene Menge des Körpers; z. B. die spec. Wärme des Eisens $= 0,11$; 1000 Pfund Eisen bedürfen daher für jeden Grad Temperaturerhöhung $0,11 \times 1000 = 110$ W. E.; 110 ist der Wasserwerth von 1000 Pfund Eisen.

Man findet die Mitteltemperatur eines Gemenges verschiedenartiger Körper, indem man die ganze Summe der vorhandenen Wärmeeinheiten dividirt durch die Summe der Wasserwerthe sämtlicher Körper; z. B. 100 Pfund Eisen v. 400° mit 500 Pfund Wasser von 8° vermischt, gibt eine mittlere Temperatur v.

$$\frac{100 \cdot 0,11 \cdot 400 + 500 \cdot 8}{100 \cdot 0,11 + 500} = \frac{4400 + 4000}{11 + 500} = 16^{\circ},4.$$

Das Wasser, dessen Temperatur durch Mischung mit einem oder mehreren Körpern verändert werden soll, muss sich immer in einem Gefässe befinden. Ist nun die Masse des letzteren ein guter Wärmeleiter, so dass sie die Temperatur des Wassers leicht annimmt, z. B. dünnes Metallblech, so berechnet man dessen Einfluss dadurch, dass man den Wasserwerth desselben zu der enthaltenen Wassermasse addirt und diese Summe als wirklich vorhandene Wassermenge betrachtet.

nungen, zu welchen die Mengung irgend eines erwärmten Körpers führen kann, sind ganz allgemein ausgedrückt in der Gleichung:

$$w. M. T + M'.T' = (M.w + M') t$$

wo M und M' die Gewichtsmassen, T und T' die zugehörigen Temperatur-Endtemperatur, w die spec. Wärme des Körpers M vorstellen. Das Verfahren setzt freilich eine genaue Kenntniss der Wärmecapacitäten, bis zu dem gesuchten Hitzegrade hin, voraus. (Pogg. Ann. 39. vergl. Tafel V. Platin.)

Die Gleichung lässt sich, je nach der Beschaffenheit der Daten, die man von dem Körper M , oder auch die Endtemperatur, oder endlich, wenn diese unbekannt ist, die Anfangstemperatur des Körpers M berechnen.

Die Methode der Mengungen gewährt auf diese Weise ein Hilfsmittel, hohe Temperaturen zu messen, indem man einen Körper, der die hohe Temperatur ertragen kann, in einen Ring oder eine Kugel von Platin in das Wasser senkt, und diesen herumführt, bis die Temperatur beständig geworden ist. Dieses Verfahren setzt freilich eine genaue Kenntniss der Wärmecapacitäten, bis zu dem gesuchten Hitzegrade hin, voraus. (Pogg. Ann. 39. vergl. Tafel V. Platin.)

Wärmecapacität der Körper, ähnlich wie ihre Ausdehnbarkeit mit der Temperatur. Nach Dulong und Petit ist z. B. die Wärmecapacität des Eisens zwischen $0-100^{\circ} = 0,1098$; $0-200^{\circ} = 0,1150$; zwischen $0-300^{\circ} = 0,1218$; zwischen $0-350^{\circ} = 0,1255$; die des Glases zwischen $0-100^{\circ} = 0,190$; zwischen $0-300^{\circ} = 0,190$.

Zunahme ist zwischen gleichen Gränzen für manche bedeutender, als für andere; dergestalt dass ihre specifischen Wärmecapacitäten, d. h. die Verhältnisse ihrer Capacitäten, verschiedene nachdem man dieselben für kleinere oder grössere, bei allen Körpern gleiche Temperatur-Abschnitte ableitet.

Die Wärmecapacität gasförmiger Körper vermehrt sich mit der steigenden Temperatur; aber es geschieht bei allen nach demselben Gesetze, so dass die specifischen Wärmen der Gase, ausgedrückt als Einheit bezogen, immer dieselben Werthe behalten, welche Temperatur-Unterschiede man sie auch untersucht.

Die specifische Wärme der Gase lässt sich ähnlich, wie die der festen Körper, nach der Mengungsmethode bestimmen. Der dazu erforderliche Apparat besteht aus einem Cylinder von dünnem Messingblech von 10 Centimeter Höhe und 8 Centimeter Durchmesser; in demselben befindet sich ein langenförmig gewundenes Rohr, durch welches ein gleichförmiger Gasstrom geleitet wird, nachdem es zuvor zu einer bestimmten Temperatur erhitzt worden war. Die aufgenommene Wärme wird auf diesem Wege gemessen und kann, wenn die Menge des durchgeleiteten Gases bekannt ist, nach gemessen werden aus der Temperatur-Erhöhung des Wassers und aus der Summe der Gewichte des Wassers und des Apparates. Damit die Temperatur im Apparat gleichförmig werden könne, befindet sich in der Mitte des Bleches eine Achse eines Quirls, der während des Versuchs umgedreht wird. Um die Abkühlung nach Aussen möglichst zu vermeiden, trägt man Sorge, das dem Anfange des Versuchs eben so viele Grade unter die äussere Luft abzukühlen, als es sich bei Beendigung des Versuchs über dieselbe erhitzt. (Pogg. Ann. 4. 717; auch Gehler's Wörterb. Wärme, S. 685.)

Der beschriebene Apparat wird nach seinem Erfinder, dem Grafen Rumford, Rumford's Calorimeter, auch Wassercalorimeter genannt.

Eine Uebersicht der spec. Wärmen derjenigen Gase, für welche sie bekannt sind, findet man Tafel V.

Von der gebundenen Wärme.

80. Wenn ein fester Körper, nachdem er sich bis zu seinem Schmelzpunkte erwärmt hat, der Einwirkung einer höheren Temperatur fortwährend ausgesetzt bleibt, so beginnt er sich zu verflüssigen. Dieser Uebergang geht aber niemals plötzlich, sondern nur nach und nach vor sich. Während dieser ganzen Zeit bleibt bekanntlich die Temperatur des Körpers beständig, wie gross auch die Wärmemenge seyn mag, welche jeden Augenblick aus der Umgebung zugeführt wird (50).

Z. B. Schnee und Eis während des Schmelzens behaupten die Temperatur von 0°, so lange noch ungeschmolzene Theile vorhanden sind. Giesst man heisses Wasser auf das Eis, so erkaltet das erstere rasch bis auf 0°, und man findet, dass dafür ein Theil des letzteren flüssig wird. Der mit Sorgfalt angestellte Versuch hat gelehrt, dass 1 Pfund Eis von 0° mit 1 Pfund Wasser von 75° gemengt, 2 Pfund Wasser von 0° liefert. 75 Wärme-Einheiten verschwinden also völlig für die Wirkung auf das Thermometer, indem sich das Eis in Wasser verwandelt.

Man hat diese Eigenschaft des Eises benutzt, um die spec. Wärme der Körper zu bestimmen. Es ist einleuchtend, dass, wenn man verschiedene Körper auf gleiche Temperatur, z. B. auf 100° erwärmt, und dann einen nach dem andern mit Eis oder Schnee umgibt, alle bis zu 0° erkalten müssen. Jeder wird aber dabei nach Verhältniss seines Wärmehaltes eine andere Gewichtsmenge Eis in Wasser verwandeln. Das Verhältniss der gebildeten Wassermengen gibt also dasjenige der Wärmecapacitäten dieser Körper für den gewählten Temperaturabschnitt. Lavoisier und Laplace haben zu diesen Versuchen einen besondern Apparat eingerichtet und demselben den Namen Eiscalorimeter gegeben. (Biot traite de phys. 4. 686.)

81. Die Wärme, welche die Körper während ihres Uebergangs in den flüssigen Zustand aufnehmen und die von dem Thermometer nicht angezeigt wird, heisst gebundene oder latente Wärme; Schmelzwärme, Verflüssigungswärme. Sie ist wesentlich, um die Körper im flüssigen Zustande zu erhalten, und kann eben aus dem Grunde, weil sie mit den kleinsten Theilen der Flüssigkeit verbunden ist und deren gegenseitiger Anziehung, in so weit diese die Ursache des Zusammenhangs war, das Gleichgewicht hält, nicht mehr auf das Thermometer einwirken, oder als ungebundene, freie Wärme, d. h. als Wärme, deren Expansivvermögen durch einen Gegendruck noch nicht aufgehoben ist, thätig seyn.

82. Die Wärme, welche ein Körper im flüssigen Zustande gebunden hält, wird frei beim Rücktritt zu der festen Aggregatform.

Schwefel z. B. schmilzt bei 110°; seine spec. Wärme ist 0,2026; 1000 Gewichtstheile festen Schwefels von 110° müssen demnach 22286 W. E. enthalten. Die Temperaturerhöhung, welche kaltem Wasser durch geschmolzenen Schwefel, der darin erstarrt, ertheilt wird, ist aber beträchtlich grösser, als es obige

hme entspricht. Dieser Ueberschuss rührt von der frei gewordenen Schmelze her.

Wasser von 0°, einer niedrigeren Temperatur, z. B. von — 20° ausgesetzt, sich, wenn man es in Bewegung hält, gleichwohl nicht weiter ab; aber ein nach dem andern wird fest. Der Wärmeverlust wird also beständig erdurch die Wärme, welche während der Eisbildung frei wird. In der That sinkt die Temperatur von 0° nur so lange, bis alles Wasser gefroren ist, und dann bald auf diejenige der Umgebung herab. Grund, warum die Temperatur des fließenden Wassers selbst bei der strengsten Winterkälte nicht un-

nige Flüssigkeiten, unter andern ruhig stehendes Wasser, erniedrigen zu — ihre Temperatur mehrere Grade unter den Schmelzpunkt, ohne zu er- a. Im Augenblicke des Festwerdens erwärmen sie sich dann bis zu ihrem elzpunkte.

hitzen des Kalks beim Löschen.

3. Die Bindung von Wärme während des Uebergangs in den igen Zustand ist die Ursache, warum es unmöglich ist, feste er über ihren Schmelzpunkt zu erwärmen.

as Freiwerden dieser gebundenen Wärme erklärt, warum Flüssigkeiten, während sie fest werden, nicht unter ihren elzpunkt abkühlen lassen.

. Jeder Körper, indem er flüssig wird, sey es durch Schmelzen auf chemischem Wege, durch Auflösen, bedarf dazu einer, er besondern Natur entsprechenden Menge Verflüssigungsmenge. Kann er diese nicht aus einer entfernteren Wärmequelle ipfen, muss er sie aus der unmittelbaren Umgebung, aus seiner en freien Wärme nehmen, so ist die Folge eine Erniedrigung Temperatur.

bkühlung durch Auflösung vieler Salze in Wasser; Kältemischungen (Tabelle). Gay Lussac's Verfahren, den Gehalt eines Gemenges von Chlorkalium chlornatrium an ersterem Salze durch Auflösen dieses Gemenges in Wasser erfahren, gründet sich auf die Wahrnehmung, dass 50 Grm. Chlorkalium in warmem Wasser um 11°,4; 50 Grm. Chlornatrium dieselbe Menge Wasser um 1°,9 abkühlen. (Schubarth's technische Chemie. B. 1. S. 353.)

5. Die Flüssigkeiten, indem sie sich in Dämpfe verwandeln, en von Neuem eine beträchtliche Menge Wärme, deren sie be- en, um den Gaszustand herbeizuführen oder um die gegensei- Anziehung der kleinsten Körpertheile völlig aufzuheben. e Verflüchtigungswärme wirkt eben so wenig wie die Schmelz- ne auf das Thermometer. Diese Wärmebindung erklärt, warum e Flüssigkeiten während des Siedens eine feste Temperatur upten, welche zugleich auch diejenige des gebildeten Dampfes ist.

Ne gebundene Wärme des Dampfes wird durch den Rücktritt elben in den flüssigen Zustand wieder zu freier Wärme.

ampf, bei seiner Erzeugungstemperatur mit irgend einem kälteren Körperührung gebracht, wird tropfbar flüssig, und theilt während dieses Ueber- , vermöge seiner gebundenen Wärme, die nun frei wird, dem andern Kör- rit mehr Wärme mit, als er selbst im Zustande tropfbarer Flüssigkeit bei der

Erhitzung bis zum Siedpunkte davon aufnehmen konnte; z. B. durch Einleiten von Wasserdampf in kaltes Wasser von 0,° erhält man auf je 1 Pfund Dampf 6,4 Pfund siedend heisses Wasser.

86. Jeder gasförmige Körper enthält eine gewisse Menge latenter Wärme, von welcher sein elastisch flüssiger Zustand, sein Expansivvermögen abhängt und durch deren Entziehung er in den tropfbar flüssigen oder selbst in den festen Zustand übergehen müsste.

Die Gase bedürfen aber auch schon für die blosse Erweiterung ihres Umfangs einer bestimmten Wärmemenge, die das Thermometer nicht anzeigt. In der Folge wird gezeigt werden, dass jeder gasförmige Körper bei plötzlicher Vergrößerung seines Volumens seine Temperatur erniedrigt, indem er nicht Zeit hat, die für die Ausdehnung nothwendige Wärme aus der Umgebung herbeizuziehen, und daher genöthigt ist, einen Theil seiner eignen freien Wärme dazu zu verwenden. Durch Zusammendrückung dagegen wird Wärme frei, weil der ganze, für den grösseren Umfang nothwendige Antheil jetzt überflüssig und folglich zur Temperaturerhöhung verfügbar wird.

87. Auch feste Körper, deren Dichtigkeit man durch äusseren dehnende Kräfte vermindert, kühlen sich ab, dagegen erwärmen sie sich, während sie durch äusseren Druck verdichtet werden. Die durch äussere Kräfte bewirkten Dehnungen sind zwar stets von einer Verschiebung der Theile (35), also von einer Art Reibung begleitet; allein durch Versuche mit Metalldrähten, die man durch Gewichte spannte (Weber in Pogg. Ann. B. 20. S. 177.) ist es nicht nur gelungen, die Grösse der Temperatur-Erniedrigung durch Zunahme der Spannung, so wie der Temperatur-Erhöhung durch Abnahme der Spannung zu messen, sondern auch den Beweis zu führen, dass ein gespannter Draht, indem er in den früheren Zustand zurückspringt, also sich verdichtet, sich um eben so viel Grade erwärmt, als er vorher durch die Dehnung sich abgekühlt hatte. Man zog hieraus den Schluss, dass zu diesen Temperatur-Veränderungen die Verschiebung der Theile und die Reibung nichts beigetragen haben konnte, und dass folglich jede Verlängerung oder Ausdehnung eines Körpers von einer Bindung von Wärme, jede Verkürzung oder Zusammenziehung aber von einem Freiwerden von Wärme begleitet ist.

88. Die Wärme, welche die Körper bei ihrer Temperatur-Erhöhung und bei unverändertem äusserem Drucke aufnehmen, die gewöhnlich sogenannte spezifische Wärme (77), zerfällt demnach in zwei wohl zu unterscheidende Theile:

1) in freie Wärme oder spezifische Wärme bei ungerändertem Volum, von welcher ausschliesslich die Temperaturerhöhung abhängig ist;

2) in gebundene oder Ausdehnungswärme, welche ausschliesslich dazu verwendet wird, die Körpertheile im Zustande der Ausdehnung zu erhalten, und welche sich aus diesem Grunde nicht als freie Wärme äussern kann.

Denkt man sich z. B. eine erwärmte Metallstange in der Art fest eingeklemmt, dass sie sich bei der Abkühlung auf die anfängliche Temperatur nicht wieder verkürzen kann, so wird sie nicht alle Wärme, die sie aufgenommen hatte, wieder abgeben, sondern nur den zuerst betrachteten Antheil, nämlich ihre spec. Wärme bei unverändertem Volum. Dieser Theil des gesammten Wärme-Inhaltes ist also wesentlich von dem Stoffe, der andere Theil wesentlich von dem Raume des Körpers abhängig.

89. Beide Wärmemengen lassen sich gewöhnlich nicht getrennt von einander beobachten. Weil aber die Ausdehnung fester und flüssiger Körper im Allgemeinen mit der wahren Temperatur nicht gleichförmig fortschreitet, so ist man veranlasst dasselbe hinsichtlich der entsprechenden Zuwachse an Ausdehnungswärme auszusetzen. Man findet hierin den Grund, warum die spec. Wärmen der Körper, nämlich die Verhältnisse ihrer Wärmecapacitäten, aus diesen Capacitäten selbst, jedoch zwischen verschiedenen Temperaturgränzen abgeleitet, nicht durch dieselben Zahlenwerthe ausgedrückt sind (78).

Ein anderer Grund liegt, wenigstens bei vielen Körpern, darin, dass sie vor dem Uebergang in den eigentlich flüssigen Zustand alle Stufen der Weichheit durchlaufen und daher, wie z. B. Eisen und Glas, keinen ganz sicher zu bestimmenden Schmelzpunkt besitzen. Andere besitzen zwar eine feste Schmelztemperatur, aber sie erweichen, wie z. B. Wachs und Phosphor, lange vor dem Eintritt derselben. Es ist anzunehmen, dass solche Körper einen Theil ihrer Schmelzwärme schon vor der völligen Verflüssigung aufgenommen haben, die dann bei dem Versuche der spec. Wärme zufügt. Körper, deren Schmelzpunkt niedrig liegt und deren Wärmecapacität bis in die Nähe dieses Punktes mit Zuverlässigkeit untersucht werden konnte, sind gerade diejenigen, deren spec. Wärmen die grössten Unregelmässigkeiten darbieten (Regnault).

90. Die Capacität eines Körpers für freie Wärme vermehrt sich mit abnehmender Dichte desselben, dergestalt, dass er nach jeder Veränderung seiner Aggregatform, so lange diese nunmehr bleibend ist, eine andere spec. Wärme bei unverändertem Volume besitzt.

Die Gase zeigen dieses Verhalten am auffallendsten; aber selbst bei festen Körpern ist es in manchen Fällen auf's deutlichste wahrnehmbar; z. B. Eisentypol besitzt im Zustande als Eisenglanz eine geringere Wärmecapacität, als der kalt weniger dichte Colkothar. Kupfer, kalt gehämmert und dadurch dichter worden, vermindert seine Wärmecapacität; durch Ausglühen in den früheren Zustand versetzt, erhält es auch wieder seine frühere Empfänglichkeit für Wärme. Die spec. Wärme der Kohle nimmt stufenweise ab, je nachdem sie als Holzkohle, Graphit und Diamant geprüft wird, und ist im letzten Falle kaum halb so gross als im ersten (Taf. V.).

Das plötzliche vorübergehende Erglühen mancher Stoffe, während man sie einer höheren Temperatur aussetzte, scheint die Folge einer Verminderung der spec. Wärme zu seyn, dadurch bewirkt, dass die kleinsten Theile in einen Zustand innigerer Berührung treten und ein Aggregat von dichterem Beschaffenheit bilden. (Regnault. Pogg. Ann. B. 53. S. 213.)

Von der specifischen Wärme der Atome.

91. Durch die Untersuchungen der Chemiker ist es gelungen die Gewichtsverhältnisse der Körperatome mit grosser Wahrscheinlichkeit zu ermitteln. Die Zahlen, welche diese Verhältnisse ausdrücken, z. B. auf das Gewicht des Sauerstoffes = 100 bezogen, nennt man die Atomgewichte, auch Atome der Körper.

Eine Vergleichung der Atomgewichte verschiedener Stoffe mit ihren spec. Wärmen hat das Bestehen der nachfolgenden, eben so merkwürdigen, als im Ausdrucke einfachen Naturgesetze höchst wahrscheinlich gemacht.

- 1) Die Atome der einfachen Stoffe besitzen entweder gleiche Capacität für die freie Wärme, oder die Capacitäten der einen stehen zu denen der andern in ganz einfachen Zahlenverhältnissen.
- 2) Die Atomgewichte zusammengesetzter Körper von gleicher atomistischer Zusammensetzung, z. B. die proportional zusammengesetzten Oxyde, Chloride, Sulphide u. s. w. besitzen gleiche Capacität für die freie Wärme.

Das erste dieser Gesetze findet eine vollkommene Bestätigung in dem Verhalten mehrerer einfachen Gase, des Sauerstoffes, Stickstoffs und Wasserstoffes, indem man gefunden hat, dass gleiche Volume derselben auch gleiche Wärmecapacität haben. Gleiche Volume dieser Gase bei gleicher Temperatur und gleichem äusseren Druck entsprechen aber nach der gewöhnlichen Annahme einer gleichen Anzahl Atome.

Eine annähernde Bestätigung findet dieses Gesetz für eine grosse Zahl einfacher Stoffe, die in flüssiger oder fester Aggregatform auftreten und deren spec. Wärme untersucht worden ist. Multiplicirt man nämlich die spec. Wärme der Gewichtseinheit eines jeden dieser Stoffe mit seinem Atomgewichte, oder mit der von den Chemikern dafür angenommenen Zahl, so sind die erhaltenen Producte entweder nahe gleich, oder es besteht zwischen denselben das Verhältniss 1 : 2 oder 2 : 3 oder ein anderes einfaches Zahlenverhältniss (vergl. Taf. VI.) Weniger streng wird die Annahme des zweiten Gesetzes durch die bis jetzt bekannten, übrigens sehr zahlreichen Versuche gerechtfertigt. Eine scharfe Uebereinstimmung zwischen den Resultaten der theoretischen und experimentellen Untersuchung lässt sich aber auch hier gar nicht erwarten, weil die spec. Wärmen der Körper, so wie dieselben durch die Mengungsmethode ermittelt sind, nicht das wahre Verhältniss ihrer Capacitäten für freie Wärme bezeichnen können (88), sondern immer, je nachdem der untersuchte Körper von sehr dichter oder weniger dichter, von harter oder weicher Beschaffenheit, krystallinisch oder amorph, fest, flüssig oder gasförmig war, je nachdem er bei einer dem Schmelzpunkte nahen oder davon weit entfernten

peratur, oder endlich je nachdem er zwischen geringeren weiteren Temperaturgränzen untersucht worden ist, bald ; bald weniger mit einem Fehler behaftet seyn müssen, der s von der zunehmenden Wärmecapacität im Allgemeinen, s von der unregelmässigen Aufnahme von gebundener Wärme ährt. Es ist daher nicht sowohl eine vollkommene Uebereimmung der theoretischen und Erfahrungs-Resultate, was den ren zur Stütze dienen kann, als vielmehr eine Annäherung halb wenig entlegener Gränzen.

Von den bewegenden Kräften im Allgemeinen und insbesondere von der Schwerkraft.

Begriffs-Bestimmungen. Geradlinigte Bewegung.

92. Diejenige Stelle im Raume, welche ein Körper einnimmt, ist sein Ort. Lage eines Ortes nennt man die Beziehungen selbst zu andern Punkten im Raume.

Ein Körper ist in Ruhe, wenn weder er selbst noch seine Theile Lage verändern. Er befindet sich in Bewegung, wenn er ost oder seine Theile nach und nach verschiedene Orte im Raume einnehmen.

Unser Urtheil über Ruhe- oder Bewegungszustand eines Körpers ist stets relativ; d. h. es bezieht sich auf eine Vergleichung seines Zustandes mit dem anderer Körper.

93. Jede Veränderung des Zustandes eines Körpers (Uebergang der Ruhe zur Bewegung oder der Bewegung zur Ruhe) ist Folge äusserer Einwirkungen (6). Die Unfähigkeit der Körperse, selbstständig, d. i. unabhängig von äusseren Ursachen, ihren Zustand zu ändern, wird mit dem Worte Trägheit (Unthätigkeit, inertia) bezeichnet.

94. Jede äussere Ursache, jede Kraft, welche für sich fähig ist, einen Körper in Bewegung zu setzen, wird bewegende Kraft genannt.

Wird ein Körper, wengleich er unter dem Einflusse einer bewegenden Kraft steht, durch irgend eine Veranlassung verhindert, sich zu bewegen, so äussert sich die bewegende Kraft als Druck oder als Zug.

Druck oder Zug ist also nichts Anderes, als das fortdauernde Streben, den Bewegungszustand herbeizuführen.

95. Die äussere Ursache des Falles der Körper wird Schwerkraft oder Schwerkraft genannt. Man kann sich dieselbe als eine Anziehung vorstellen, welche von der Erde ausgeht und welcher jeder einzelne Erdkörper unterworfen ist. Die Bewegung gegen die Erde, die wir Fall nennen, ist eine Folge dieser Anziehung.

Die Körper sind zu jeder Zeit dem Einflusse der Schwerkraft unterworfen; sie besitzen selbst dann ein Streben zu fallen, wenn

sie durch eine Unterlage daran verhindert sind. Der Druck, welcher sie dann auf die Unterlage äussern, der fortdauernde Antriebspuls) zur Bewegung, zum Falle, heisst Gewicht.

Der ruhende Körper wiegt; bei dem Falle verwandelt sich dieser Druck in Bewegung. Wir sind daher berechtigt, aus der Gleichheit der Gewichte auch gleich grosse bewegende Kräfte zu schliessen. Auch die Zugkraft des Pfeils, die Elasticität einer gespannten Feder, die Ausdehnbarkeit eines zusammengepressten Gases u. s. w. sind bewegende Kräfte, die sich bald nur als Druck äussern, bald wirklich Bewegung erzeugen.

96. Eine gerade Linie, nach welcher irgend ein sehr kleiner Theil der Körpermasse, ein materieller Punkt, unter dem Einflusse bewegender Kräfte, eine wenn auch noch so kurze Strecke fortschreitet, nennt man die Richtung der Bewegung innerhalb dieser Strecke. Bewegt sich der materielle Punkt unter dem ausschliesslichen Einflusse einer einzigen Kraft, so muss die Richtung der Bewegung zugleich diejenige der Einwirkung, d. i. die Richtung der Kraft bezeichnen.

So erkennt man z. B. aus dem Wege eines fallenden Körpers die Richtung der Schwerkraft.

Am deutlichsten erkennt man die Richtung einer Kraft aus derjenigen eines Fadens, der am einen Ende befestigt und am andern durch diese Kraft gespannt ist.

Ein solcher Faden, der von irgend einem festen Punkte herabhängt und dessen unterem Ende ein Gewicht angeknüpft ist, heisst Senkel oder Loth. Er bezeichnet in der Ruhelage die Richtung der Schwere des anhängenden Körpers, weil dieser in derselben Richtung fällt, sobald man den Faden durchschneidet. Eine gerade Linie, gleichlaufend mit dem Wege eines fallenden Körpers, wird daher eine senkrechte oder lothrechte genannt.

97. Mehrere Lothe in mässigem Abstände von einander aufgehängt sind gleichlaufend. Es folgt hieraus, dass mehrere bewegliche Körper, aber auch dass sämtliche Theile eines und desselben Körpers vermöge der Anziehung der Erde sich nach einer Richtung zu bewegen streben.

Aus astronomischen Untersuchungen hat sich ergeben, dass die Richtungen sehr weit von einander abstehender Lothe einen Kreis bilden, dessen Scheitelpunkt beinahe genau der Mittelpunkt der Erde ist; d. h. die Schwere ist allenthalben auf der Erdoberfläche gegen den Mittelpunkt der Erde gerichtet; oder die Wirkungen der Schwerkraft sind von der Art, als ob diese Anziehungskraft ihren Sitz im Erdmittelpunkte hätte.

98. Eine ebene Fläche, so gelegt, dass das Loth oder dessen Verlängerung nach allen Seiten einen rechten Winkel damit bildet, heisst eine wagerechte oder horizontale Ebene. Das Loth gewährt uns also ein sehr einfaches Hülfsmittel, einer Ebene die horizontale Lage zu geben, oder auch durch einen beliebig angenommenen Punkt eine wagerechte Fläche zu legen.

Eine Fläche, welche man sich so gelegt denkt, dass sie alle Mittelpunkte der Erde ausgehende gerade Linien, im Abstände des mittleren Erdhalbmessers rechtwinklich durchschneidet, wird die horizontale Erdoberfläche genannt.

Die horizontale Erdoberfläche muss eine kugelförmige Fläche seyn, weil nur letztere die Eigenschaft besitzt, dass alle von ihrem Mittelpunkte aus darauf gezogenen geraden Linien, alle Lothe rechtwinklich darauf stehen.

99. Eine Kraft, die einer andern in ihrer Richtung entgegenwirkt und dadurch die Wirksamkeit dieser letzteren aufzuheben vermag, heisst Widerstand.

100. Wenn beide entgegengesetzten Kräfte an Grösse genau gleich sind, oder wenn jede für sich genommen der Körpermasse dieselbe Bewegung einprägen würde, so kann durch ihre gemeinschaftliche Thätigkeit keine Veränderung bewirkt werden. Man sagt dann: die bewegende Kraft und ihr Widerstand sind im Gleichgewichte.

Das an einem Faden hängende oder auf einer Unterlage ruhende Gewicht ist verhindert, sich zu bewegen, weil die Festigkeit des Fadens oder der Unterlage einen Widerstand bietet, an Grösse gleich der Wirkung der Schwere.

Ein Körper, den man auf der Hand trägt, kann nicht fallen, so lange die Muskelkraft der Hand seinem Gewichte einen gleich grossen Druck entgegensetzt.

Ein Gewicht, welchem durch irgend eine andere Kraft das Gleichgewicht gehalten wird, ist ein Mass für die Grösse dieser andern Kraft, dieses Gegendruckes. Wir besitzen hierdurch ein Mittel, alle fortwirkenden Kräfte, hinsichtlich ihrer Grösse auf Gleiches zurückzuführen (35).

101. Die Kräfte wirken, oder erzeugen einen Effect, in der Richtung.

102. Ein Loth aus seiner Gleichgewichtslage gebracht und dann selbst überlassen, bewirkt eine Reihe von Hin- und Herbewegungen, die man Schwingungen (Oscillationen) nennt. Der Zeitraum einer einzelnen Schwingung heisst ihre Weite.

Das schwingende Loth wird gewöhnlich Pendel genannt.

Die Beobachtung lehrt, dass die Schwingungen verschiedener Pendel zwar sehr verschieden seyn können, aber bei demselben Pendel kreuze und bei mässiger Schwingungsweite stets gleiche Weite haben. Daher der Ausdruck isochronische (gleichdauernde) Schwingungen. Man benutzt daher das Pendel als Mass für die Zeittheile. Ein Pendel, welches eine Schwingung in einer Sekunde vollendet, wird Sekunden-Pendel genannt.

Wenn das Pendel als Zeitmass dienen soll, ersetzt man gewöhnlich den Faden durch eine unblegsame, übrigens leichte Stange, z. B. von Holz,

die nicht an einem Punkte befestigt ist, sondern auf einer wagerechten Schneide oder Axe ruht. Das Gewicht am unteren Ende erhält einer Linse, damit es die Luft leichter durchschneidet. — Der Gebrauch dells als Zeitmass ist von Huyghens eingeführt worden.

103. Eine kreisförmige, um ihren festen Mittelpunct bei der Scheibe, Rolle genannt, die in jeder Lage, die man ihr mag, in Ruhe bleibt, nennt man richtig centritt. Wird solche Rolle ein Faden geschlungen, und befestigt man an derselben herabhängenden Enden desselben gleiche Gewichte halten diese einander im Gleichgewichte. Diese einfache Einrichtung bildet den wesentlichsten Theil eines für das experimentelle Studium der Bewegungsgesetze sehr wichtigen Apparates seinem Erfinder die Atwood'sche Fallmaschine genannt.

Zu dieser Maschine gehört ausserdem ein Pendel, welches, indem es Zeittheile, z. B. Sekunden schlägt, dazu dient, die Beziehungen zwischen Raum aufzusuchen und zu messen; ferner ein senkrechter Massstab in Pariser Zolle getheilt, vor welchem sich das eine dieser Gewichte niederbewegen lässt, und der zugleich als Träger der Rolle dient. Massstäbe sind zwei wagerechte Platten, von welchen die obere an dem Ende ist, so angebracht, dass sie auf- und abwärts geschoben und an Stellen der Theilung festgestellt werden können *).

*) Pl. I, Fig. 1, zeigt eine sehr bequem eingerichtete Fallmaschine fürlicher Grösse, die von dem Universitätsmechanikus Hoss für die physikalische Kabinet der Universität zu Giessen ausgeführt worden ist. Die Rollen und Pendel haben jede ihren besonderen Träger; sie sind auf eisernen Säulen befestigt, das mittelst Stellschrauben und einer unter der Spitze dells in das Holz eingelassenen Spitze leicht so gerichtet, wie man sieht, dass beide Säulen senkrecht stehen. Die Rolle läuft, wie man ersieht, auf Spitzen, und an jedem Ende des um dieselbe geschlungenen möglichst dünnen Seidenfadens hängt ein leichter Teller von Messing, von welchem verschiedene Gewichte von Messing oder Eisen angebracht werden können. Um diese Gewichte bequem zulegen und wieder abnehmen zu können, ist ihr Querschnitt wie Fig. 5. gestaltet. Vor dem Beginn des Versuches wird die untere Fläche des vor dem Massstabe herabfallenden Tellers in gleiche Höhe mit der wagerechten Oberfläche des Zeigers der Scale bezeichnet, gerichtet. Damit aber die Augenblicke des Falles an genau gemessen werden können, die Fig. 2. 3. und 4. näher zu ersiehende Einrichtung. Die Säulen, welche die Rollen und die Rolle tragen, sind im Innern hohl, und nehmen die Holzstäbe ad und be (Fig. 2) auf, die bei a und b durch Stifte mit einander zusammenhängen; letztere ist um den festen Punct c am oberen Ende des Querstückes q (Fig. 1. und 4.) befestigt, tritt aus der Säule, woran das Pendel hängt, hervor. Dieses Stück, so geht auch der Stab be in die Höhe, wodurch ein Ende desselben befestigter Draht gh (Fig. 3.) aufwärts geschoben und vor ein Stift h tritt, das am Rande der Rolle eingesetzt ist, wird hierdurch festgestellt. Auf der Pendelstange sitzt eine bis um einen Stift bewegliche Stahlscheibe m , (Fig. 4.), die bei jeder Schwingung, mittelst des Stiftes n einen kleinen, an federndem Ende befestigten Hammer hebt. Der niederfallende Hammer schlägt die Glocke p und macht dadurch das Ende einer jeden Schwingung Gehör bemerkbar. Ueber dem Hammer schwebt der eine Arm d

14. Das bewegliche System an der Fallmaschine (Rolle, Faden abhängende gleiche Gewichte) für sich verhält in jeder Lage, an ihm geben kann, im Gleichgewichte. Bringt man aber auf Seite ein kleines Uebergewicht an, dann das doppelte, drei- u. s. w., so tritt jedesmal Bewegung ein, und die in gleichen beschriebenen Wege verhalten sich wie die zugelegten kleinen Gewichte.

Dieses Erfahrungsgesetz ist ganz unabhängig von der Masse bewegten Systems.

Man muss hieraus schliessen: dass, wenn zwei in einem Punkt wirkende Kräfte einander das Gleichgewicht halten (wie die beiden anhängenden Gewichte) dieser Körper gegen eine dritte Kraft (das aufgelegte kleine Uebergewicht), deren Wirksamkeit kein Widerstand entgegen, ganz so verhält, wie eine träge Masse.

Der Grund dieses Verhaltens ist: weil das eine Gewicht um eben so viel gehoben als das andere gesenkt wird, mithin die beiden gleichen Kräfte (Gewichte) in eben so vielen entgegengesetzten Wegen zurücklegen, folglich ihre Wirkungen in eben so vielen entgegengesetzten Richtungen ganz so wie im Ruhezustande, sich wechselseitig aufheben müssen.

Dieser Satz kann auch auf folgende Art ausgedrückt werden: Wenn zwei Kräfte in entgegengesetztem Sinne in einem Punkte auf eine Körpermasse wirken, ohne einander das Gleichgewicht zu halten (ungleiche Gewichte an beiden Enden des Fadens), so verhalten sich die in gleichen Zeiten beschriebenen Wege, wie die Unterschiede dieser Kräfte. Wenn aber mehrere Kräfte in gleichem Sinne thätig, so addieren sich ihre Wirkungen.

105. Man gebe dem Auflege-Gewichtchen eine passende Gestalt, dass es während des Niedersinkens zu einer bestimmten Zeit an die geeignete Stelle geschoben durchbrochenen Platte zurückgehalten wird. Die bewegte Masse, von diesem Augenblicke an von keiner bewegenden Kraft mehr getrieben, wird sich wohl ihren Weg fortsetzen, und man wird finden, dass die beschriebenen Räume, nach 1, 2, 3 u. s. w. Pendelschlägen genommen, sich verhalten wie die verfließenden Zeittheile, nämlich wie die Zahlen 1, 2, 3 u. s. w. Also während der Dauer eines jeden Pendelschlages wird ein gleich grosser Weg zurückgelegt.

Diese Art der Bewegung heisst die gleichförmige.

Man setze sich drehenden Winkelhebels $u t v$, während der andere Arm desselben Hebels wider ein Stift r drückt, das in einem Einschnitte des Querstückes q angebracht ist; das Stift r hängt sich daher in die Vertiefung r , so wie das Querstück q gehoben wird, und letzteres ist dadurch gehindert, zurückzufallen. Zugleich hat sich aber das Ende u des Hebels dem Obertheile des Hammers genähert; indem nun das schwingende Pendel den Hammer hebt, wird auch u gehoben; das Querstück q löst sich aus und fällt nieder, mit ihm sinkt der Draht $k g$, und die Rolle wird frei, dergestalt, dass also der erste Glockenschlag den Anfang des Versuches bezeichnet.

Es ist kein Grund einzusehen, warum die einmal gleichgewordene Bewegung, insofern derselben durch äussere Ursachen nichts zugefügt oder entzogen wird, niemals aufhören sollte, in dieser Art fortzudauern. Wir folgern hieraus: dass die Masse, gleich wie sie sich nicht selbst Bewegung ertheilen vermag, einmal in Bewegung gesetzt, auch nicht selbst wieder zur Ruhe bringen kann. | wichtige, aus der Erfahrung abgeleitete Grundsatz wird das Gesetz der Trägheit genannt. Dieses Gesetz gestattet auch folgende Ausdrucksweise: die träge Masse muss jedem äusseren Eindrucke im Verhältnisse zur Grösse desselben in dessen Richtung vollständig nachgeben. Die durch hervorgebrachte Wirkung bleibt, so lange neue äussere Einflüsse in's Spiel treten, unverändert.

Diesem Gesetze gemäss sollte jede einmal begonnene Bewegung nicht der aufhören dürfen. Wir bemerken im Gegentheil, dass die einer Körper durch vorübergehende Einwirkungen mitgetheilten Bewegungen nach und langsamer werden und zuletzt ganz aufhören. Der Grund liegt theils in der Gegenwart von Widerständen oder entgegengesetzten Kräften, theils darin, dass der uns zunächst umgebende Raum überall mit Materie, z. B. mit Luft, ist, folglich jede bewegte Masse andere träge Massen vor sich wegstösst, d. h. einen Theil ihrer eigenen Bewegung auf diese übertragen muss. Die Betrachtung dieser Verhältnisse, weit entfernt, dem Gesetze der Trägheit widersprechen, hat vielmehr dazu gedient, die Allgemeinheit desselben zu bestätigen.

106. Der Weg, welchen ein Körper bei gleichförmiger Bewegung in der Einheit der Zeit, insbesondere in einer Sekunde zurücklegt, heisst seine Geschwindigkeit.

Geschwindigkeit ist also bei einem bewegten Körper das jedesmalige Verhältniss zwischen Zeit und Raum (Weg). Der ganze, bei gleichförmiger Bewegung beschriebene Weg ist das Product der Zeit in die Geschwindigkeit. Geschwindigkeit, Zeit und Raum werden insgemein durch die Buchstaben c , t und s ausgedrückt; man darf demnach setzen $s = c \cdot t$.

Körpermassen, worin alle wirksamen Kräfte einander das Gleichgewicht halten, und welche dadurch den Charakter von trägen Massen angenommen haben (104), befinden sich entweder in Ruhe, oder sie bewegen sich mit der einmal gewonnenen Geschwindigkeit unveränderlich fort. Beispiel eines Schiffes, das durch den Wind getrieben, eines Frachtwagens, der durch Pferde mit gleichförmiger Bewegung fortgezogen wird. Der gleichförmige Gang der Uhr wird dadurch erhalten, dass die Bewegung, welche das Räderwerk, sowohl schwingende Pendel an die Luft abgeben muss und durch Widerstände durch die Triebkraft (eine sich aufwickelnde gespannte Feder oder ein abgewandtes Gewicht) regelmässig wieder ersetzt wird. Aehnlich verhält es sich mit den Betrieben aller Maschinen.

107. Die Geschwindigkeit eines Körpers bei fortdauernder Wirkung einer bewegenden Kraft oder eines Widerstandes ist veränderlich; sie nimmt im ersten Falle zu, und vermindert sich im zweiten.

Die Fallmaschine gestattet vermöge der ihr gegebenen Einrichtung nur die unter fortdauernder Einwirkung einer bewegenden Kraft während

itraumes beschriebenen Wege (104), sondern auch die nach Ende aumes gewonnenen Geschwindigkeiten (105) zu messen.

Abmessung 1) der Geschwindigkeiten, welche dem be- Systeme an der Fallmaschine während 1, 2, 3, 4 u. s. f. lägen, durch ein und dasselbe Uebergewicht ertheilt wer- 2) der Geschwindigkeiten, welche es immer in derselben dem Einflusse des einfachen, doppelten, dreifachen Ue- tes u. s. w. erhält, oder 3) der Räume, die bei unverän- bergewichte in 1, 2, 3, 4 u. s. f. Pendelschlägen beschrie- n, wird man zu folgenden Erfahrungsgesetzen geleitet: Geschwindigkeiten einer Körpermasse unter dem Ein- und desselben Gewichtes mitgetheilt, verhalten sich wie der Einwirkung.

Geschwindigkeiten, der Körpermasse unter dem Einflusse Gewichte, aber in gleichen Zeitabschnitten mitgetheilt, sich wie die Gewichte.

unter dem Antriebe desselben Gewichtes beschriebenen halten sich wie die Quadrate der Zeiten.

Venn man sich vorstellt; dass der einer trägen Masse e bewegende Kraft eingeprägte Trieb zur Bewegung der bereits eingetretenen Bewegung ebenso fortwirke, luezustande, so fließen obige drei Erfahrungsgesetze r aus dem der Trägheit. Sie belehren uns daher: dass fehung der Schwere auf fallende Körper eine derlich fortwirkende Kraft ist.

, welche, ähnlich der Schwere, auf den bewegten Körper fortwirken, wie auf den ruhenden, werden gleichfö- hleunigende Kräfte genannt. Die der Einwirkung ein- n Kraft entsprechende Bewegung heisst die gleich- eschleunigte.

ein Körper erhalte durch die bewegende Kraft in der ersten Sekunde indigkeit = c, so bleibt ihm dieselbe nach dem Gesetze der Träg- r die Folgezeit. Vom Ende der ersten bis zum Ende der zweiten Se- durch die unveränderte Kraft dieselbe Geschwindigkeit noch einmal ssgleichen in jeder folgenden Zeiteinheit. Da nun alle diese ein- en Geschwindigkeiten nach Annahme bleiben, so muss die Endege- eit nach t Sekunden $C = c t$ seyn.

erhältmiss der Zunahme gilt aber nicht blos für die Sekunden, es : grössten, wie für die kleinsten Zeitabtheilungen gleichmässig ein- ynen z. B.

$$\frac{1}{n}, \quad \frac{2}{n}, \quad \frac{3}{n}, \quad \frac{4}{n} \dots \dots \frac{n}{n}$$

klein gedachten gleichen Unterabtheilungen der Sekunde, so sind:

$$\frac{1}{n} \cdot c, \quad \frac{2}{n} \cdot c, \quad \frac{3}{n} \cdot c, \quad \frac{4}{n} \cdot c \dots \dots \frac{n}{n} \cdot c$$

erabtheilungen der Zeiteinheit zugehörigen Geschwindigkeiten. Jede

ultiplirt mit $\frac{1}{n}$, d. i. mit dem kleinen Zeittheilchen, welchem sie zu- erimentalphysik.

gehört, gibt den beiden zugehörigen Weg, die Summe aller dieser Theilprodukte aber den ganzen Weg in der Sekunde. Dieser (er mag mit g bezeichnet werden) muss daher seyn:

$$g = \frac{1}{n} \left(0 + \frac{1}{n} c + \frac{2}{n} c + \dots + \frac{n}{n} c \right) = \frac{c}{n^2} (0 + 1 + 2 + \dots + n) \\ = \frac{c}{n^2} \cdot \frac{n^2}{2} = \frac{c}{2}$$

Der bis zu Ende der Zeiteinheit beschriebene Weg ist gleich der Hälfte der bis dahin gewonnenen Geschwindigkeit, oder, was dasselbe sagt, gleich der Hälfte desjenigen Weges, der in der folgenden gleichen Zeit und bei gleichförmiger Bewegung zurückgelegt werden müsste.

Dieser Satz bleibt wahr, mag nun als Zeiteinheit die Sekunde oder jeder andere Zeitabschnitt gewählt werden.

Die Geschwindigkeit nach t Sekunden ist $C = ct$; daher der Weg in der ersten t Sekunden, nämlich wieder in t Sekunden, aber bei gleichförmiger Bewegung (er werde durch $2S$ vorgestellt) $2S = Ct = ct^2$.

Der in den ersten t Sekunden mit gleichförmiger Beschleunigung beschriebene Weg ist nur halb so gross; daher $S = \frac{ct^2}{2} = gt^2$.

D. h. der ganze in t Sekunden zurückgelegte Weg wird erhalten, indem man den Weg in der ersten Sekunde mit dem Quadrat der Bewegungszeit multiplicirt.

Die Gleichungen:

$$C = ct = 2gt; (\alpha) \text{ und } S = gt^2 = \frac{ct^2}{2} (\beta)$$

enthalten alle Bedingungen der durch gleichförmig beschleunigende Kräfte bewirkten Bewegung. Durch Verbindung derselben lassen sich noch die folgenden in vielen Fällen sehr nützlichen Gleichungen, in welchen die Zeit nicht mehr vorkommt, ableiten:

$$C = \sqrt{4gS} = \sqrt{2cS}; (\gamma) \text{ und } S = \frac{C^2}{4g} (\delta)$$

109. Die Geschwindigkeit, welche eine gleichförmig beschleunigte Körpermasse nach der ersten Sekunde erlangt hat, wird die Beschleunigung genannt. Die Beschleunigung ist (bei ungleichwerthiger Körpermasse) der fortwirkenden Kraft proportional (107; 2) und kann daher als Mass für die letztere gelten.

Beispiel: Das bewegliche System an der Fallmaschine, durch ein willkürliches Uebergewicht von 5 Grm. getrieben, legte in 6 Pendelschlägen einen Weg von 57,6 Zoll zurück. Die Beschleunigung war demnach

$$(108, \beta) c = \frac{2 \cdot 57,6}{36} = 3,2''.$$

Welches Uebergewicht ist anzuwenden, damit die Beschleunigung 2 Zoll werde? Man setze, um diese Frage zu lösen, $3,2 : 2 = 5 : (x = 3,125 \text{ Grm.})$. Durch ein Uebergewicht von 3,125 Grm. wird also die verlangte Bedingung erfüllt. In Anwendung desselben ist die Endgeschwindigkeit $C = 2t$; der ganze Weg $S = 1 \cdot t^2$.

Dieselben Ursachen, welche die gleichförmig beschleunigte Bewegung an der Fallmaschine bedingen, wirken auch bei frei fallenden Körpern, nur da hier die Schwere sämtlicher vorhandener materieller Theile zu der Bewegung beiträgt. Kennt man daher das Verhältniss, in welchem die Beschleunigung im freien Falle bei dem Falle an der Maschine verlangsamt ist, so lässt sich die dem letzteren der erstere berechnen.

Angenommen, das bewegliche System nebst Uebergewicht sind so gewählt, dass die Geschwindigkeit in jeder Zeitsekunde um 2 Zoll zunimmt. Die Gewichtsmassen auf beiden Seiten der Rolle, im Gleichgewichte zugefügt, rufen diese Bewegung verlangsamen; ein richtig gewähltes und auf der Seite der niedergehenden Bewegung zugelegtes Uebergewicht wird wieder die frühere Beschleunigung herbeiführen. Man findet nun, dass dies allemal geschieht, so oft je 180 Grm. vertheilter Masse 1 Grm. als Uebergewicht in Wirksamkeit tritt. Wenn die Schwere sämmtlicher 181 Grm. zu der Bewegung beitragen, so muss die Beschleunigung 181 mal grösser werden. Die Beschleunigung der Schwere ist demnach $c = 2 \cdot 181 \text{ Zoll} = 362 \text{ Fuss}$; der Fallraum eines Körpers in der ersten Sekunde beträgt 15,083 Fuss Par. M.

Direkte Versuche über den freien Fall stimmen damit so ziemlich überein. Freigegenommen ist jedoch der sogenannte freie Fall keine gleichförmig beschleunigte Bewegung, weil er keine ganz freie Bewegung ist, sondern durch die Luft mit der zunehmenden Geschwindigkeit mehr und mehr aufgehalten wird (174).

Die Gesetze des Falles sind zuerst von Galileo (1602) dargestellt und beschrieben worden.

Anwendungen: Wie hoch ist ein Thurm, von welchem eine Bleikugel binnen 5 Sekunden herabgefallen ist? Welche Geschwindigkeit erlangt ein Stein, der von 20 Fuss Höhe herabfällt? Welche Geschwindigkeit erlangt derselbe, wenn man ihn von derselben Höhe mit 5 Fuss Geschwindigkeit herabwirft? Von welcher Höhe hätte er herabfallen müssen, um eben diese Geschwindigkeit durch die Schwere allein zu gewinnen?

Die Beschleunigung der frei wirkenden Schwere dient als Masseinheit für andere beschleunigende Kräfte, ähnlich wie man bewegende Kräfte und Widerstände durch Gewichte misst (100).

110. Wenn verschiedene Körper sich mit gleicher Beschleunigung bewegen, so müssen ihre Massen sich verhalten, wie die sie bewegenden Kräfte, denn je gleiche Quantitäten träger Massen bedürfen gleicher bewegender Kräfte, um in derselben Zeit einerlei Geschwindigkeit zu erhalten.

Dieser Satz ist eigentlich nur ein veränderter Ausdruck des Gesetzes der Trägheit (105), und fließt daher aus letzterem als eine nothwendige Folge.

Die Fallmaschine als ein Mittel betrachtet, die Schnelligkeit (Intensität) des Falles zu vermindern, ohne doch die Gesetze zu ändern, nach welchen er vor sich gehen muss, ist eine Anwendung dieses Satzes.

111. Es ist bisher angenommen worden, dass die Masse eines jeden Körpers proportional sey seinem Gewichte (28), d. h. der Stärke der Erdanziehung auf die ganze Summe vorhandener materieller Theile. Wenn diese Annahme richtig ist, müssen alle Körper ganz unabhängig von ihren übrigen Eigenschaften, mögen sie nun der freien Wirksamkeit der Schwere oder einer auf proportionale Weise veränderten Schwere ausgesetzt seyn, stets gleiche Beschleunigung, oder was dasselbe ausdrückt, in gleichen Fallzeiten gleiche Geschwindigkeiten gewinnen.

Die Versuche an der Fallmaschine entsprechen auf befriedigende Weise dieser Folgerung, denn sie erscheinen ganz unabhängig von der chemischen Beschaffenheit der bewegten Masse.

Auch im leeren Raume fallen alle Körper, z. B. Gold, Blei, Korkholz, Federn, mit gleicher Geschwindigkeit. In der Atmosphäre

dagegen werden Körper von ungleicher Dichtigkeit ungleich, und zwar ganz leichte Stoffe sehr merklich aufgehoben. Eine noch grössere Verschiedenheit zeigt sich bei'm Falle durch das Wasser.

Offenbar müssen also Flüssigkeiten auf fallende Körper von ungleicher Dichte einen ungleichen Widerstand äussern.

112. Bei Körpern, welche in die Höhe geworfen werden, wirkt die Schwere als Widerstand. Dieser Widerstand ist ein gleichförmig fortwirkender. Der aufsteigende Körper verliert daher in jeder Sekunde gleich viel (30 Fuss) von seiner anfänglichen Geschwindigkeit; so viel nämlich, als er frei fallend in derselben Zeit gewonnen haben würde (108). Die Aufsteigengeschwindigkeit muss

daher nach einer Anzahl Sekunden $\left(t = \frac{C}{c}\right)$ völlig zernichtet

werden und der während dieser Zeit nach oben zurückgelegte Weg (die sogenannte Steighöhe) genau derselbe seyn, welchen der Körper in derselben Zeit unter dem Einflusse der Schwere abwärts zurückgelegt haben würde (108 β, δ).

Diese Betrachtung zeigt nicht nur ein sehr einfaches Mittel, den Weg und die Geschwindigkeit eines aufsteigenden Körpers zu jeder Periode seiner Bewegung zu berechnen, sondern sie deutet auch den rechten Gesichtspunct an, von welchem aus im Allgemeinen der Einfluss der Widerstände aufgefasst werden muss:

Der Widerstand, durch den eine bewegte Masse in einer gewissen Zeit zur Ruhe gelangt, ist stets einer bewegenden Kraft gleich, welche derselben trägt. Diese Masse in derselben Zeit, eine ihrer anfänglichen gleiche Geschwindigkeit, aber in entgegengesetztem Sinne ertheilen würde.

Beispiel: Welche Höhe würde eine mit 600 Fuss Geschwindigkeit aufsteigende Büchsenkugel im luftleeren Raume erreichen können? — Um diese Geschwindigkeit zu erlangen, muss ein Körper von der Höhe $(108 \delta) S = \frac{(600)^2}{60} = 6000$ herabfallen. Dies ist also die Steighöhe. Bei unveränderter Steiggeschwindigkeit, d. h. ohne den Widerstand der Schwere, würde die Kugel in derselben Zeit die doppelte Höhe erreicht haben.

Die Widerstände vermindern die anfängliche Geschwindigkeit eines bewegten Körpers nicht immer gleichförmig, d. h. sie wirken nicht immer als gleichförmig verzögernde Kräfte. Immer aber lässt sich die Gesamtgrösse ihrer Wirksamkeit während einer gewissen Zeit (der ganze Geschwindigkeitsverlust des bewegten Körpers) der Wirkung eines Gewichtes (eines Druckes) vergleichen, welches in derselben Zeit denselben Körper eben die Geschwindigkeit ertheilen könnte, die durch die Widerstände verzehrt worden ist.

Beispiel: eine Masse von 12,000 Pfund (etwa ein beladener Wagen) hat die Geschwindigkeit von 40 Fuss angenommen. Wie gross muss ein fortwirkender Widerstand seyn, damit binnen 10 Sekunden die Ruhe wieder hergestellt werde? — Diese Frage ist gelöst, wenn man ausfindig gemacht hat, durch welchen gleichförmig anhaltenden Gegendruck der Masse eine Geschwindigkeit von 40 Fuss in 10 Sekunden ertheilt werden kann. Die dazu nöthige Beschleunigung i

1, denn $40 = 4 \cdot 10$. Diese Beschleunigung ist nun $\frac{4}{10}$ von derjenigen der Kugel, folglich die gesuchte Kraft als Gewicht ausgedrückt, $\frac{4}{10}$ von 12,000 = 1600 Pfund.

12. Die Beschleunigung c einer Masse M (nämlich einer Masse, welche als schwerer Körper von 1 Pfund wiegt) erhaltenen Beschleunigungen wie die bewegenden Kräfte K (109), so ist im Allgemeinen die einer Kraft k entsprechende Beschleunigung $c = c \frac{K}{M}$.

Nach der Geschwindigkeit nach t Secunden $C = c \frac{K}{M} t$ (\dot{a}); der Weg nach

der Zeit $S = \frac{c K}{2 M} t^2$ (β'); woraus sich ferner die abgeleiteten Gleichungen (108)

$$\sqrt{\frac{K}{M}} S \text{ (γ') und } s = \frac{C^2 M}{2 c K} \text{ (δ') ergeben.}$$

13. Einer ruhenden Körpermasse kann eine gewisse Geschwindigkeit der Bewegung niemals plötzlich, sondern nur durch allmähliche Uebergänge ertheilt werden, ebenso wie ein bewegter Körper immer nur allmählich zur Ruhe zurückkehrt.

Dieser Satz ist nur eine Umschreibung des schon in 101 ausgedrückten Grundsatzes: dass die Kräfte in der Zeit wirken. Derselbe wird jetzt vollkommen verständlich sein.

14. Da die Grösse der Geschwindigkeit, welche einer gegebenen Körpermasse ertheilt werden kann, im zusammengesetzten Verhältnisse steht: der bewegenden Kraft und der Wirkungszeit (γ), so folgt: dass eine jede Verminderung der einen dieser Grössen durch proportionale Vermehrung der andern wieder ersetzt werden kann; d. h. so lange das Product, welches durch Multiplication der Kraft mit der Zeit erhalten wird, ungeändert bleibt, wird auch die einem Körper ertheilte Endgeschwindigkeit nicht ändern.

Beispiel: Die Kraft des Schiesspulvers ist so gross, dass z. B. die Wände einer Kugelbüchse bei weitem nicht fest genug seyn würden, um zu widerstehen, wenn die ganze Ladung sich auf einmal entzündet und mithin die ganze Kraft auf einmal sich frei äussern könnte. Aus diesem Grunde ist die Zusammenpackung und Bereitungsweise des Schiesspulvers darauf berechnet, dass unbedeutend der Wirksamkeit die Entzündung einer gewissen, wenn auch sehr kurzen Zeit bedarf, dergestalt dass ein Theil der entwickelten Kraft bereits in die Kugel übergegangen ist, und sich in Geschwindigkeit verwandelt hat, während die übrige sich erst erzeugt. Das geringe Stossen bei sehr grosser Triebkraft gezogenen Kugelbüchsen beruht darauf, dass vermöge der Schraubenwindung die Kugel genöthigt ist, in dem Rohr einen grösseren Weg zurückzulegen, folglich länger darin zu verweilen, wodurch sie dem fortwirkenden Drucke des allmählich sich entzündenden Pulvers längere Zeit ausgesetzt bleibt. — Explosive Substanzen, deren Zersetzung rascher als die des Schiesspulvers vor sich geht, z. B. Pulver, welchem chloresaures Kali beigemischt ist, Knallsilber u. d. m., können zum Schiessen nicht benutzt werden, weil sie die Büchsen zerlegen, bevor die Kugel Zeit hat heraus zu fliegen.

Bewegungsgrösse. Stoss unelastischer Körper.

115. Die Geschwindigkeit, welche ein Körper unter dem Einflusse einer bewegenden Kraft in einer gegebenen Zeit annehmen kann, steht im umgekehrten Verhältnisse zur Grösse seiner Masse (102 d). Das Product der Multiplikation der Masse mit der Geschwindigkeit eines Körpers nennt man seine Bewegungsgrösse.

Beispiel: Eine Kugel von $\frac{1}{4}$ Pfund Masse bei 800 Fuss Geschwindigkeit besitzt die Bewegungsgrösse 100. Ein Stein von 20 Pfund, dem eine Geschwindigkeit von 5 Fuss beigebracht worden, besitzt ebenfalls die Bewegungsgrösse 100. Man kann sich daher vorstellen, dass beide Bewegungen durch gleiche Kräfte während gleicher Wirkungszeiten erzeugt sind. Denkt man sich bei einander entgegengesetzt, so müssen sie sich aufheben, d. h. zur Ruhe bringen.

116. Das Zusammentreffen zweier Körpermassen, von denen sich wenigstens die eine in Bewegung befinden muss, wird Stoss genannt. Die Wirkung des Stosses ist eine Uebertragung von Bewegung von einem Körper in die Masse des andern, welche so lange vor sich geht, bis beide Massen einerlei Geschwindigkeit besitzen. Die Zeit dieser Uebertragung, d. h. die Zeit vom Beginn des Stosses bis zur gänzlichen Beendigung aller Einwirkung, ist immer sehr kurz, jedoch niemals Null, wenn auch für unsere Sinne gewöhnlich verschwindend.

Wer hat nicht schon die Erfahrung gemacht, dass Personen, die sich in einem Schiffe oder Wagen befinden, bei plötzlichem Anhalten desselben eine Neigung empfangen, in der Richtung der früheren Bewegung hinzufallen? Der Grund ist, weil die mit dem Schiffe in unmittelbarer Berührung stehenden Körpertheile durch den Stoss früher als der Oberkörper aufgehalten werden. Eben so erklärt sich die grosse Gefahr des Herauspringens aus einem schnell bewegten Wagen. — Man kann bekanntlich einen eisernen Hammer an seine Stiele dadurch befestigen, dass man letzteren lose in die Hand fasst und das Ende desselben schlägt, oder umgekehrt, indem man dieses Ende mit einiger Heftigkeit gegen einen harten Gegenstand stösst. Im einen Falle theilt sich die Bewegung des Stiels nicht augenblicklich dem Hammer mit, im andern Falle wird die des ersteren früher unterbrochen als die des letzteren.

In ähnlicher Weise muss sich die Wirkung des Stosses (Schlages) zuerst immer nur auf einzelne Theile der gestossenen Masse übertragen, und von diesen allmählig auf andere Theile fortpflanzen. Das, was man Erschütterung nennt, ist die Folge dieser Ungleichzeitigkeit in der Einwirkung des Stosses auf die verschiedenen Theile eines Körpers.

Störung des Zusammenhanges durch Stoss.

117. Da sich die Bewegungsgrösse einer Körpermasse mit gleichem Rechte als die Wirkung einer geringen Kraft, die lange Zeit thätig war, oder auch einer grossen Kraft bei geringer Wirkungszeit betrachten lässt, so kann man sich immer vorstellen, dass ein stossende Körper gleich einer bewegenden Kraft wirke, von so grosser Stärke, aber verhältnissmässig kurzer Zeit.

Beispiel: Ein dünner Bindfaden, an einem Körper von mässigem Gewichte befestigt, so dass er denselben sicher trägt, kann durch rasches Anziehen zu

rissen werden, ohne merkliche Erschütterung des Gewichtes, weil die Bewegung der Hand, ursprünglich durch keine bedeutende Kraft erzeugt, im Augenblicke, da sich der Faden spannt und der Stoss erfolgt, sich als ein Druck von so bedeutender Stärke äussert, dass die Festigkeit des Fadens selbst nicht eine ganz kurze Zeit widerstehen kann.

Man wird sich jetzt leicht erklären, warum an und für sich geringe Kräfte, wenn sie als Stoss wirken, oft sehr grosse Widerstände zu überwinden vermögen. Durch Hammerschläge z. B. lässt sich ein Balken verrücken, den die vereinte Kraft mehrerer Menschen nicht bewegen kann. Eintreiben der Nägel mit dem Hammer. Einrammen zugespitzter Pfähle u. s. w.

118. Durch den Stoss empfängt der eine Körper Bewegung, dadurch, dass der andere eben so viel und in derselben Richtung verliert, ganz so, als habe eine und dieselbe Kraft gleichzeitig in beide Massen, aber in entgegengesetztem Sinne, eingewirkt. Man findet daher die einer ruhenden Masse durch den Stoss mitgetheilte Geschwindigkeit, indem man die Bewegungsgrösse der stossenden durch die Summe beider Massen dividirt.

Gewalt grosser Massen, selbst bei langsamer Bewegung. Der Strom der Eisgang. Stoss grosser Schiffe gegen kleinere Fahrzeuge, schwer beladene Fuhrwerke gegen Widerstände auf der Strasse.

Waren beide Massen vor dem Stosse nach gleicher Richtung in Bewegung, so wird die Summe dieser Bewegungen auch nach dem Stosse noch vorhanden seyn.

Bewegten sich beide Massen gegen einander, so bleibt nur der Unterschied beider Bewegungsgrössen übrig.

Allgemein wird die Geschwindigkeit beider Massen nach dem Stosse gefunden, indem man die Summe oder die Differenz der Bewegungsgrössen durch die Summe der Massen dividirt.

Beispiel: Die Masse 9 Pfund mit der Geschwindigkeit 15 Fuss, holt die Masse 6 Pfund bei 10 F. Geschwindigkeit ein. Ihre gemeinschaftliche Geschwindigkeit

nach dem Stosse ist $\frac{9 \cdot 15 + 6 \cdot 10}{9 + 6} = 13$ Fuss. Stossen beide gegen einander, so

ist die Geschwindigkeit nach beendigter Einwirkung $\frac{9 \cdot 15 - 6 \cdot 10}{9 + 6} = 5$ Fuss.

Diese Rechnung gibt übrigens nur das unmittelbare Resultat der wechselseitigen Uebertragung von Bewegung zweier trägen Massen. Die Endwirkung ist wegen des Einflusses der Elasticität meistens anders aus.

Vom Gleichgewichte.

119. Gleiche an der Rolle hängende Gewichte halten einander im Gleichgewichte, weil, wenn z. B. das eine um 10 Fuss sinken will, das andere um 10 Fuss steigen muss, mithin während der Bewegung dieser beiden Kräfte in ihren Richtungen, gleichzeitig stets gleiche Wirkungen, aber in entgegengesetztem Sinne entstehen.

Das Gleichgewicht wird auch dann ungestört bleiben, wenn man das steigende Gewicht, sobald es einen Fuss Weg zurück-

gelegt hat, mit einem andern von ganz gleicher Beschaffenheit verwechselt. Man ist auf diese Weise im Stande, durch 1 Fuss das 10 Pfund niedersinkt, je 10 Pfund 1 Fuss hoch, oder durch 2 Fuss das 5 Pfund 2 Fuss hoch u. s. f. zu heben.

120. Das Product einer Kraft in den Weg, den sie in einer bestimmten Richtung, im positiven oder negativen Sinne, zurücklegt, heisst das Bewegungsmoment (mechanisches Moment) oder auch den Bewegungseffect.

Z. B. Ein Gewicht von 10 Pfund, das 20 Fuss niedersinkt oder steigt, verurtheilt ein Bewegungsmoment $10 \cdot 20 = 200$. Dasselbe Gewicht 10 Fuss in horizontaler Richtung fortbewegt, entspricht (als schwerer Körper) gar keinem Bewegungsmoment, weil es in der Richtung seiner Wirksamkeit, nämlich in der der Senkung weder gehoben noch gesenkt wurde.

121. Die Erfahrungssätze von Nr. 119 zeigen, dass ein Gewicht, dessen Bewegungsmoment gleich 10 (1 Pfund 10 Fuss hoch) ist, ein beliebiges anderes Gewicht so hoch zu heben vermag, als das Product des letzteren in den von ihm zurückgelegten Weg ebenfalls gleich 10 wird. Wir werden dadurch zu dem Schluss berechtigt, dass überhaupt: gleiche Bewegungsmomente gleichen Wirkungen entsprechen und also, eine entgegengesetzt, ein Ausdruck des Gleichgewichtes sind.

122. Wenn man das niedergehende Gewicht an der Rolle irgend eine andere Kraft, etwa die Muskelkraft der Hand, ansetzt, so wird auch jetzt noch das steigende Gewicht um eben so hoch gehoben, als die andere gleich grosse Kraft niedersinkt. letztere Kraft pflegt man die Betriebskraft, das gehobene Gewicht aber, oder jeden andern seine Stelle vertretenden Körper, die Last zu nennen. Die hervorgehende Wirkung, wenn sie zu irgend einem nützlichen Zwecke dient, heisst Arbeit.

Diesen Begriff von Arbeit allgemeiner aufgefasst, besteht die Arbeit der Betriebskraft in Erzielung eines ihrem eigenen Bewegungsmomente oder Bewegungseffecte gleichen Lastmomentes oder Nutzeffectes.

Man schätzt den Wirkungswerth verschiedener Betriebskräfte nach der Grösse ihrer Bewegungsmomente oder nach der Grösse der Arbeit, die sie vollbringen können. Benutzt man z. B. einen niedersinkenden Körper als Betriebskraft, so ist sein Wirkungswerth gleich seinem Gewichte multiplicirt mit der Höhe, um welche er sinken kann.

Die menschliche Muskelkraft besitzt das Eigenthümliche, sich bei Uebung fast mit gleicher Leichtigkeit und mit gleichem Erfolge nach jeder Richtung hin äussern zu können. Mag nun diese Kraftäusserung durch blossen Bewegung der Hände oder auch des ganzen Körpers begleitet werden, so lehrt die Erfahrung, dass der Bewegungseffect gesunder Männer, in einer Sekunde Arbeitszeit berechnet, durchschnittlich einem Gewichte von 2,5 Fuss hoch, oder von 75 Pfund 1 Fuss hoch, gleich gesetzt werden kann. Dabei ist angenommen, dass dieser Bewegungseffect täglich, während den sich von Sekunde zu Sekunde erneuern könne. Diese ganze Anzahl

multiplirt mit dem Effecte einer Sekunde, bezeichnet den täglichen Effect eines männlichen Arbeiters.

Die Zugkraft der Pferde zeigt sich am wirksamsten in wagerechter Richtung. Ihr Bewegungsmoment, bezogen auf Pferde von mittlerer Grösse und auf die Sekunde Arbeitszeit, ist einem Gewichte von 125 Pfund, wenn hoch gehoben wird, oder der Zahl 500 zu vergleichen. Dieser Effect wird so viel mal genommen, als die ganze tägliche Arbeitszeit von 8 Stunden zählt, wird gewöhnlich schlechthin eine Pferdekraft (tägliches Effect eines Pferdes) genannt.

Die Bedingung des Gleichgewichtes gleicher Kräfte an einem Punkte ist ganz unabhängig von der Richtung, worin diese Kräfte wirksam sind. Welche immerhin diese Richtungen seyn mögen, es wird Gleichgewicht stattfinden, sobald keine der Kräfte in ihrer Richtung einen Weg zurücklegen kann, ohne die andern nöthigen, in der dieser zugehörenden Richtung, jedoch entgegengesetztem Sinne, einen gleich grossen Weg zu beschreiten.

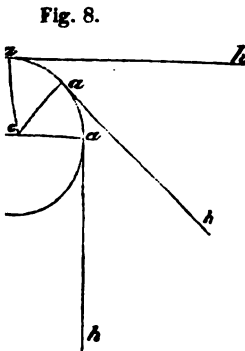


Fig. 8.

Um z. B. das Gewicht G an der Rolle aufzuziehen, wird es ganz gleiche Anstrengung erfordern, in welcher der verschiedenen Richtungen a h die Hand wirken mag; oder der Faden a h wird stets durch einen gleichen, dem Gewichte G entsprechenden Druck gespannt seyn. Dieses Experiment zeigt die Möglichkeit, einen gegebenen Druck nicht nur nach seiner Richtung, sondern nach jeder beliebigen Richtung mit unveränderter Stärke fortzupflanzen. Anwendung von Rolle und Seil, um Kräfte zu leiten und um ihre Richtung zu verändern.

Man gebe zweien Rollen von ungleichen Durchmessern einen gemeinschaftlichen Mittelpunkt, wie in



Fig. 9, und befestige sie so an einander, dass keine sich ohne die andere um den festen Mittelpunkt herum bewegen kann. Von der einen hänge ein Gewicht Q , von der andern ein Gewicht P herab. Diese ungleichen Kräfte werden einander das Gleichgewicht halten, wenn ihr Grössen-Verhältniss das umgekehrte ist der Wege, die bei eintretender Bewegung, die eine, z. B. Q , im positiven, die andere, P , im negativen Sinne, eine jede in ihrer Richtung zurücklegen müssen; denn

in allen Fällen sind ihre Bewegungsmomente gleich. Man sieht also, dass diese Bedingung des Gleichgewichtes erfüllt ist, wenn die Kräfte sich verhalten umgekehrt wie die Peripherien, oder umgekehrt wie die Halbmesser der Rollen.

Es sey der Halbmesser $a c = q$, der Halbmesser $c b = p$, so kann setzen $Q : P = p : q$ oder auch $Q \cdot q = P \cdot p$ oder endlich $Q \cdot 2 \pi q = P \cdot 2 \pi p$ die letzte Gleichung bezeichnet die Gleichheit der Bewegungsmomente, die den ersten ergeben sich daraus als nothwendige Folgen.

Dieses Gleichgewichtsgesetz gilt übrigens für andere Kräfte mit dem Rechte wie für Gewichte, und ist unabhängig von den Richtungen ihrer Versamkeit (123).

125. Der feste Punkt, um welchen eine Rolle beweglich heisst ihr Stützpunkt. Wird derselbe durch eine feste, gegen die Ebene der Rolle rechtwinklich durchschneidende und an zwei Punkten auf Unterlagen ruhende Linie ersetzt, so nennt man diese Linie (oder richtiger die Axe des kleinen Cylinders, welcher sie bildet) die Drehaxe. Der Punkt, an welchem die Richtung einer Kraft den Umkreis der zugehörigen Rolle berührt, heisst der Angriffspunct dieser Kraft. Die beiden geraden Linien, $a c$ und $b c$ (Fig. 9) welche vom Stützpunkte nach den Angriffspuncten der Kräfte gezogen werden können, und die, vermöge ihrer Eigenschaft als Kreisradien, auf den Richtungen der Kräfte winkelrecht stehen müssen, werden Hebelsarme genannt.

Das Product einer Kraft in ihren Hebelsarm heisst *statisches Moment* oder *Moment der Ruhe*.

Das ganze System der beiden einander das Gleichgewicht stiftenden Kräfte heisst ein Hebel. Bilden beide Hebelsarme eine gerade Linie und liegt der Stützpunkt zwischen den Angriffspuncten wie in Fig. 9, so entsteht der doppelarmige Hebel.

Bilden zwar beide Hebelsarme eine gerade Linie, aber der Stützpunkt liegt ausserhalb der Angriffspuncte a und b , wie in Fig. 10, so entsteht der einarmige Hebel.

Fig. 10.

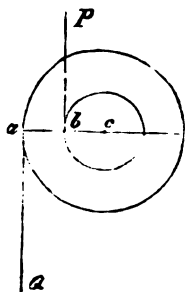
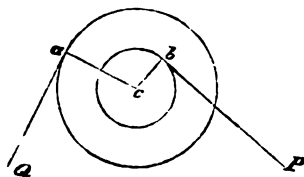


Fig. 11.



Bilden beide Hebelsarme einen Winkel wie $a c$ und $b c$ in Fig. 11, so entsteht der Winkelhebel.

126. Zwei Kräfte am Hebel müssen einander das Gleichgewicht halten, wenn eine oder die andere der folgenden von einander abhängigen Bedingungen eintritt:

-) Wenn die Bewegungsmomente oder mechanischen Momente beider Kräfte gleich und entgegengesetzt sind.
-) Wenn ihre statischen Momente gleich sind.
-) Wenn die Kräfte sich verhalten, umgekehrt wie ihre Hebelsarme, oder umgekehrt wie die Räume, welche sie bei eintretender Bewegung beschreiben müssen.

Man sieht leicht ein, dass diese Gleichgewichts-Bedingungen nicht an die Rollen geknüpft sind, und daher überall eintreten können, wo Kräfte Drehung in entgegengesetztem Sinne und um denselben festen Punkt zu bestelligen streben. Da aber jeder Hebelsarm als ein Kreishalbmesser angesehen werden kann, so lässt sich auch jeder Hebel auf ein System concentrischer Rollen zurückführen.

Das Gesetz des Hebels bildet einen der wichtigsten und fruchtbarsten Lehren der Physik, nicht nur als Grundlage zur Erklärung einer grossen Menge der Gleichgewichtsverhältnisse, sondern auch wegen der zahlreichen und mannichfaltigen praktisch nützlichen Anwendungen, die man davon hat.

Von der einfachen Hebe- und Brechstange bis zu den zusammengesetztesten Maschinen gibt es kaum ein Werkzeug, das sich nicht als eine Anwendung des Hebelgesetzes darstellen liesse. Wo z. B. findet sich der Stützpunkt, wo die Angriffspunkte der Kräfte beim Gebrauche des Messers, der Scheere, der Zange, des Schlüssel, des Raders, des Schiebkarrens u. s. w.?

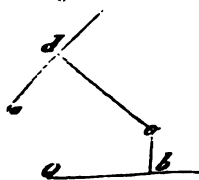
Mit dem Worte Maschinen bezeichnet man Vorrichtungen, die einestheils den Kraften sollen, die Betriebskräfte fort zu leiten, und denselben eine zur Vollendung einer Arbeit-möglichst nützliche Richtung zu geben, anderntheils aber die Bestimmung haben, bald die Geschwindigkeit, bald die Stärke der Betriebskraft auf eine zweckdienliche Weise zu verändern. — Das Bewegungsmoment (oder den Bewegungseffect) der Kraft durch Anwendung einer Maschine zu vergrössern, ist unmöglich; es wird im Gegentheile gezeigt werden, dass das zum Vorschein kommende nützliche Lastmoment auch unter den günstigsten Umständen immer weniger beträgt, als man aus der Grösse der Betriebskraft schliessen muss.

Maschinen, bei welchen nur ein einziger Stützpunkt vorkommt, werden einfache Maschinen genannt. Dahin gehören: die Rolle, das Rad an der Haspel (Haspel, Winde), als unmittelbare Anwendungen des Hebels.

Bei den zusammengesetzten Maschinen finden sich immer mehrere Stützpunkte. Die meisten lassen sich als Verbindungen mehrerer Hebel ansehen, wie der Flaschenzug, der Kranich, der Pferdegöpel (Rossmühle) und alles in einander greifende Räderwerk.

Der Gebrauch unserer Glieder, beim Fortbewegen, Tragen, Heben, Drücken, u. s. w., liefert zahlreiche belehrende Beispiele von Anwendungen des Hebelgesetzes.

Fig. 12.



Wenn ein beliebig gestalteter Körper an einem Punkte irgendwie gestützt ist, und an einer andern Stelle einen Druck erleidet, so zeigt das Gesetz des Hebels, welcher Widerstand an einer beliebigen angenommenen dritten Stelle angebracht werden, und in welcher Richtung er wirken muss, um jenem Drucke das Gleichgewicht zu halten. Es sey z. B. o der Stützpunkt, bei a wirke ein Druck P in der Richtung der Linie $a d$; bei b soll sich der Widerstand befinden. Man ziehe $o d$ winkelrecht auf $a d$; man verbinde $o b$ und ziehe $Q b$ winkelrecht auf $o b$.

kelrecht auf $o b$. Ein Widerstand Q von Q nach b wirksam, wird das Gewicht erhalten, wenn $Q = \frac{P \cdot o d}{o b}$ (125 Winkelhebel).

Wir sind auf diese Weise im Stande, die Wirksamkeit einer Kraft, die auf einen gewissen Punct des gestützten Körpers äussert, nach einem andern Puncte desselben zu verpflanzen. Die Grösse des Druckes, die an dieser andern Stelle zum Vorschein kommt, wird in manchen Fällen ducirte Kraft genannt. Eine gegebene Kraft an eine gewisse andere Stelle zu reduciren, heisst daher nichts Anderes, als die Grösse ihres Einflusses an dieser Stelle durch Rechnung finden.

Durch Vermittlung des Hebels kann ein gegebener Druck in jeden noch so grossen Druck verwandelt werden. Da jedoch der Bedingung: heit der Bewegungsmomente, stets genügt werden muss, so folgt, dass die Wirkung an der Wirkungsstelle in demselben Verhältnisse abnehmen und der Druck an dieser Stelle sich mehrt.

127. Zwei gleichlaufende Kräfte, deren Wirksamkeit nach derselben Seite hin gerichtet ist, äussern auf denjenigen Punct, welchen, als Stützpunkt betrachtet, sie sich im Gleichgewichte halten würden, einen Druck, dessen Richtung der ihrigen gleich ist, und dessen Grösse ihrer Summe gleich ist. Dieser Satz ist als einfache Folgerung aus dem Gesetze des Hebels.

Der gemeinschaftliche Wirkungspunct zweier gleichgerichteten Kräfte wird ihr Schwerpunkt genannt.

Man findet den Schwerpunkt zweier Kräfte, indem man ihre Angriffspunkte durch eine gerade Linie verbindet, und diese in zwei Stücke theilt, welche umgekehrt wie die Kräfte verhalten. Der Theilungspunct ist der Schwerpunkt.

128. Jede beliebige Anzahl gleichgerichteter Kräfte, also auch schwere Körper, was immerhin seine Gestalt sey, besitzt einen Schwerpunkt, d. h. einen Punct, worin man sich die Summe sämtlicher Kräfte oder das ganze Gewicht des Körpers vereinigt denken kann.

Der Druck schwerer Körper lässt sich daher immer so ansehen, als ob er von einem einzigen Puncte, dem Schwerpunkte, aus. Berechnung des Druckes, den ein schwerer, an mehreren Puncten gestützter Körper auf jeden seiner Stützpunkte ausübt, z. B. eines Balkens auf seine Unterlagen.

129. Ein in seinem Schwerpunkte gestützter Körper verhält sich in jeder Lage im Gleichgewichte.

Eine lothrechte, durch den Schwerpunkt gehende Gerade heisst die Richtungslinie der Schwere eines Körpers. Diese heisst die Schwerlinie.

Körper, welche weder im Schwerpunkte selbst, noch in der Richtungslinie ihrer Schwere gestützt sind, können in keinem Gleichgewichte verharren.

Wenn man einen Körper an einem Faden aufhängt, so fällt er bei eingetretener Ruhe, sein Schwerpunkt in die Richtung des Fadens fallen. Wird er daher nach einander an verschiedenen Puncten aufgehängt, so müssen die Verlängerungen beider Lothe einander im Schwerpunkte durchschneiden. Die Lage des letzteren wird dadurch bestimmt.

Bei solchen Körpern, deren Gestalt mathematisch bestimmbar, und deren Innere von einer überall gleich dichten Masse erfüllt ist, lässt sich der Schwerpunct durch Construction und Rechnung finden. Zuweilen ist dieses Verfahren einfach; es lässt sich z. B. leicht beweisen, dass der Mittelpunct des Kreises, der Kugel und jeder regelmässigen Figur zugleich der Schwerpunct ist; dass der Schwerpunct von Prismen und Cylindern in ihrer halben Höhe, der des Kegelns in dem dritten Theile seiner Höhe, der der Pyramide und des Kegels in dem vierten Theile ihrer Höhe liegt. Ferner ist leicht einzusehen, dass der Schwerpunct aller solchen Körper, die man sich durch Umdrehung einer Fläche um eine Achse erzeugen lässt, in dieser Linie selbst liegen muss.

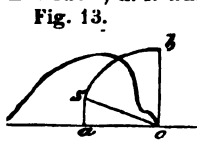
0. Die Lage des Schwerpunctes ist von wesentlichem Einflusse auf die Fähigkeit eines Körpers, äusseren Einwirkungen zu widerstehen, ihn zu drehen oder umzuwerfen zu streben, einen Widerstand entgegenzusetzen. Standfähigkeit (Stabilität).

Ein Körper kann nicht umfallen, so lange er in der Richtungslinie seines Schwerpunctes unterstützt ist. Dass er fest stehe (Standfähigkeit besitze), kann man nur dann sagen, wenn er äusseren Einwirkungen nach jeder Richtung einen Widerstand entgegengesetzt.

Körper, welche nur im Schwerpuncte gestützt sind, verhalten sich gegen Eindrücke gleich trägen Massen; sie leisten gar keinen Widerstand. Ein Prisma, eine Rolle, ein Cylinder, die auf einer festen, ihren Schwerpunct durchschneidenden Axe ruhen, können durch die geringsten Kräfte genöthigt werden, dadurch in eine neue Gleichgewichtslage versetzt zu werden.

Alle Körper, die nur in einem Punkte in der Richtungslinie ihres Schwerpunctes gestützt sind, keinen festen Stand behaupten. Befindet sich der Schwerpunct unter dem Schwerpuncte, so werden sie durch die geringste Kraft leicht umgeworfen, wie eine Kugel oder ein Rad auf ebener Fläche. Die Kunst des Balancirens, den Stützpunkt in der Richtungslinie des Schwerpunctes zu erhalten, heisst Kunst des Balancirens. Befindet sich der Stützpunkt eines Körpers über dem Schwerpuncte, so kann er zwar nicht umgeworfen werden, sondern zeigt ein natürliches Streben, in die ursprüngliche Gleichgewichtslage zurückzuweichen, so oft er daraus entfernt worden ist; gleichwohl sind sehr geringe Kräfte ausreichend, um eine Verrückung zu bewirken. Pendel, Wage und überhängende Körper.

1. Alle Körper, welche wenigstens auf drei Punkten, die ein Dreieck bilden, d. i. auf einer Fläche ruhen, und deren Schwerlinie in diese Fläche fällt, stehen fest. Denn um einen solchen Körper umwerfen zu können,



muss er um eine der Gränzlinien seiner Grundfläche, z. B. um die Kante 0 (Fig. 13) gedreht, folglich der Schwerpunct um die Linie $0b$ -- as gehoben werden.

Unter zwei Körpern von gleichem Gewichte wird derjenige am leichtesten stehen, dessen Schwerpunct am meisten gehoben werden muss, um ihn in die Lage senkrecht über die Drehkante zu bringen; also derjenige, dessen Schwerpunct am tiefsten liegt und dessen Schwerlinie am weitesten von der Drehkante absteht.

Das Product der Multiplikation des Gewichtes eines Körpers mit dem Abstände ($a0$ Fig. 13) seiner Schwerlinie von der Drehkante wird das statische Moment der Standfähigkeit genannt. Das statische Moment einer Kraft, welche den Körper um eine Kante drehen soll, muss dem Momente seiner Standfähigkeit

keit, bezogen auf diese Kante, gleich seyn. — Ein Körper k der Seite hin keinen Widerstand leisten, nach welcher da seiner Standfähigkeit Null ist.

Anwendungen auf den ungleich festen Stand der Körper je nach und Lage ihrer Grundfläche zu ihrer eignen Grösse und Gestalt. Z. B. oder vierseitige Säulen stehen auf einer ihrer Basen weniger fest, als ihrer Seitenflächen; abgestumpfte Pyramiden oder Kegel stehen fest grossen, als auf der kleinen Basis. Mauern mit Strebepfeilern. Schie — Hochbeladene Frachtwagen sind dem Umwerfen leichter aus wenn sie eben so schwer mit dichteren Stoffen beladen sind.

Die physische Kraft des menschlichen Körpers eignet sich besser gen, als zum Ziehen; die der vierfüssigen Thiere besser zum Ziehe Tragen.

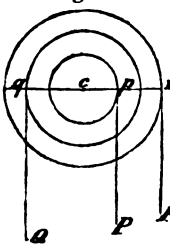
Die Bewegung unseres Körpers ist bei jedem Schritte von einem darauf folgenden Senken des Schwerpunctes begleitet. Wir erreichen Gehen, indem wir durch Vorneigen des Oberkörpers den Schwerg nach Vorne bringen, und indem wir durch geeignetes Biegen und St Kniee das Heben und Senken des Schwerpunctes vermindern. — Auf steigen der Berge. — Mehr oder weniger fester Stand des menschlich je nach der Stellung der Füsse.

132. Das Gesetz des Hebels lässt sich auf drei, vier Anzahl Kräfte, deren Bewegungen von einander abhängen ausdehnen. Es kann in dieser allgemeineren Form folgend ausgedrückt werden:

Mehrere Kräfte, welche ein bewegliches System eine feste Axe zu drehen streben, werden ein Gleichgewicht halten, wenn die Summe ihrer Bewegungsmomente gleich Null ist, d. h. wenn die Bewegung im positiven Sinne diejenigen im negativen Sinne aufhebt.

Man denke sich z. B. drei zusammenhängende Rollen (Fig. 14) von

Fig. 14.



gleichem Durchmesser, die sich um die gemeinschaftliche Achse bewegen. Um jede Rolle ist ein Faden geschlungen, an dem ein Gewicht angehängt, in der Weise, dass, wenn die Rollen um P und R niedergehen, das dritte Gewicht Q gehoben wird. Es muss nun Gleichgewicht stattfinden, wenn R multiplicirt mit dem Wege, den es z. B. für eine Umdrehung gehoben wird, gleich ist der Summe der beiden andern Kräfte in die von ihnen zurückgelegten Wege. Denn unter dieser Bedingung sind die drei Kräfte gleich und entgegengesetzt. Zusammen addirt gleich Null sind, oder wenn

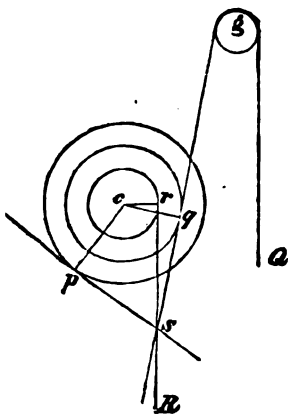
$$Q \cdot qc = P \cdot pc + R \cdot rc.$$

Legt man dem einen oder andern Gewichte etwas zu, so ist kein Gleichgewicht mehr möglich, vielmehr werden dann alle Theile des beweglichen Systems eine beschleunigte Bewegung, theils sinkend, theils steigend, annehmen. Hierdurch eingetretene Wirkung ist jedoch immer von der Art, dass eine neue Kraft im entgegengesetzten Sinne wirksam, deren Bewegung (Product der Kraft in den in ihrer Richtung zurückgelegten Weg) dem früheren Uebergewichte gleich kommt, vollständig wieder aufgehoben kann. Dieses Verhalten lässt sich mittelst der Fallmaschine leicht machen, wenn man die einfache Rolle mit einer zusammengesetzten

133. Das verallgemeinerte Hebelsgesetz bleibt wahr, g

g von der Richtung, in welcher jede der Kräfte (z. B. an zugehörigen Rolle) wirksam ist, denn diese Richtung hat Einfluss auf die während einer Umdrehung abgewickelten Wege, d. h. auf die Grösse der zurückgelegten Wege, und man solle solche Kräfte, welche sich im positiven Sinne ihrer Bewegung, mit fallenden Gewichten, solche die sich im negativen Sinne ihrer Richtung bewegen mit steigenden Gewichten verbinden.

Fig. 15.



Unter den zahllosen Richtungen, nach welchen sich drei Kräfte P, Q und R um den festen Punkt c (Fig. 15) im Gleichgewicht halten können, unter der Bedingung, dass ihre Bewegungsmomente einander zu Null ergänzen, oder dass die Effecte im positiven Sinne diejenigen im negativen aufheben, wollen wir insbesondere den Fall hervorheben, dass die verlängerten Richtungen der drei Kräfte in einem Punkte s zusammentreffen. Man kann sich in diesem Falle sämtliche Kräfte in den Durchschnittspunkt versetzt denken, und man sieht sogleich ein, dass nunmehr die Bedingung des Gleichgewichtes erfordert, entweder, dass die in s vereinigten Kräfte nach keiner Richtung einen Druck ausüben oder dass der gemeinschaftliche Druck den sie hervorbringen, in der Richtung von s nach c statt

er durch den Widerstand der Axe aufgehoben wird. Tritt das erstere ein, so sind die Kräfte unter einander im Gleichgewicht; macht man z. B. die drei Kräfte durch drei Schnüre und lässt an jeder derselben eine der Kräfte, gegen die früheren Richtung, wirken, so dauert das Gleichgewicht fort, selbst wenn man den festen Punkt c .

Man beachte drei oder mehrere bewegende Kräfte nicht schon in einem Punkte der festen Axe im Gleichgewicht, so darf man den Widerstand der Axe nicht als eine Kraft betrachten, die während der Bewegung der andern Kräfte in ihrer Richtung, selbst keinen Weg zurücklegt, deren Bewegungsmoment also Null ist.

Es folgt folgender, ganz allgemein geltende Lehrsatz:

Wenn drei oder mehrere Kräfte, deren Wirksamkeit auf einen bestimmten Punkt gerichtet ist, oder von diesem Punkte ausgeht, halten einander im Gleichgewicht, so sind die Producte dieser Kräfte, je in die Wege, welche während der eintretenden Bewegung gleichzeitig, jede in ihrer Richtung zurücklegen müssten oder auch wirklich zurücklegen, einander zu Null ergänzen.

Man kann die Kräfte, die sich um eine feste Axe im Gleichgewicht halten, als Kräfte betrachten, deren Mittelpunkt der Erde als denjenigen Punkt betrachten, gegen welchen die gemeinschaftliche Wirksamkeit richtet, oder von welchem sie

134. Wenn die Wirkungen zweier Kräfte, P und Q , (Fig. 16

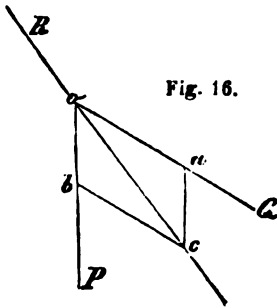


Fig. 16.

gegen denselben Punkt O gerichtet sind, so nennt man die Richtung ihrer gemeinschaftlichen Wirksamkeit, welche O seyn mag, die mittlere Richtung; den Druck, welchen beide Kräfte, die Seitenkräfte, gemeinschaftlich in dieser mittleren Richtung ausüben, heisst die mittlere oder resultirende Kraft. Eine gleich grosse Kraft, R im entgegengesetzten Sinne hält beiden Kräfte das Gleichgewicht. Jede der Kräfte, P , Q und R , die einander

Gleichgewicht halten, kann übrigens als eine, der Resultirende beider andern gleiche und entgegengesetzte angesehen werden.

Je zwei dieser Kräfte, z. B. P und Q ., verhalten sich zu der dritten wie die Seiten ob und oa zu der Diagonale oc eines Parallelogramms, welches auf den Richtungen der drei Kräfte, von einem willkürlichen Punkte o aus, der in der Richtung der Mittleren genommen ist, gebildet werden kann. Daher Gesetz vom Parallelogramm der Kräfte.

Dieses Gesetz ist im Wesentlichen nur eine veränderte Ausdrucksweise des Vorhergehenden; es lässt sich, indem man von dem Grundsätze ausgeht, dass die Bewegungsmomente der Kräfte P und Q , bezogen auf einen beliebigen Punkt der Richtung der Kraft R , als Drehaxe, einander gleich sein müssen, durch einfache geometrische Betrachtungen ableiten.

Die Richtigkeit desselben ergibt sich aber auch unmittelbar aus einem andern Grundsätze, dessen Annahme durch alles gerechtfertigt wird, was wir bisher kennen gelernt haben, und ohne dessen Richtigkeit auch das Gesetz der Trägheit falsch sein müsste (105). Er heisst: Der Erfolg der gleichzeitig einwirkenden mehrerer Kräfte auf denselben Punkt (etwa den Schwerpunkt eines Körpers) muss immer von der Art sein, als hätten die Kräfte nacheinander jede eine gleiche Zeit eingewirkt. — Der Fall werde z. B. durch die Kraft P allein in der Zeiteinheit von 0 nach b getrieben, die Kraft Q wird ihn hierauf, verhältnissmässig zu ihrer Grösse, in derselben Zeit von b nach c versetzen. Sollen beide Wirkungen wieder aufgehoben werden, so muss noch eine dritte Kraft hinzutreten, die ihn in der Zeiteinheit von c nach 0 versetzt.

Als Belege für die allgemeine Geltung des so eben erwähnten Grundsatzes mögen noch folgende Beispiele dienen. Fallende Körper senken sich bekanntlich in der ersten Sekunde um 15 Fuss; eine Büchsenkugel, mit noch so grosser Geschwindigkeit wagrecht fortgetrieben, wird gleichwohl eine Sekunde nach dem Lauf verlassen hat, um 15 Fuss gesunken sein. — Wir finden, dass man auf dem Verdecke eines sanft fortgleitenden Schiffes, nach jeder Richtung, so wie auf einer ruhenden Fläche bewegen kann, und doch nehmen wir das an allen Bewegungen des Schiffes Theil. — Die Umwälzung der Erde um die Axe, oder um die Sonne, zeigt keinen Einfluss auf unsere Bewegungen an der Erdoberfläche.

135. Das Gesetz des Parallelogramms der Kräfte zeigt, wie man für zwei und so fort auch für mehrere gemeinschaftlich wirkende Kräfte einen mittleren Ausdruck finden, oder mehrere Kräfte zu

zigen zusammensetzen kann. Zusammensetzung äfte.

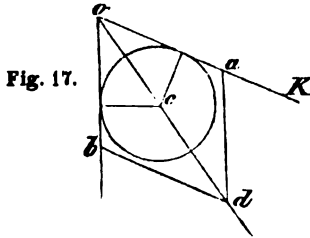


Fig. 17.

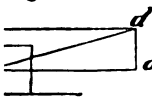
el: Es ist der Druck zu bestimmen, den zwei gleiche aber nicht gleich-
kräfte $K = o a$ und $L = o b$ auf die Axe einer Rolle ausüben (Fig. 17).
hte Druck ist $o d$. Die Zeichnung gibt genügende Auskunft über das

Umgekehrt lässt sich eine jede Kraft als die resultierende
ndern betrachten oder in zwei Seitenkräfte zerlegen. Zer-
der Kräfte. Ist die Richtung dieser Seitenkräfte schon
, so zeigt das Gesetz des Parallelogramms, wie man die
erselben findet.

Beispiel: Erklärung der bekannten Thatsache, dass sich
wagerechter Richtung nicht gerade spannen lassen.

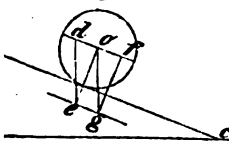
wandlung der schief gerichteten Zugkraft $o d$ (Fig. 18) in
eine wagerechte und in eine senkrechte

Fig. 18. Kraft. — Ursache des Seitendrucks der Dä-
cher auf die Mauern, worauf sie ruhen. —
Der Kniehebel eine sehr wirksame Vorrich-
tung zum Pressen. Ein besonders bemer-
thes Beispiel der Anwendung des vorgetragenen Gesetzes
chiefe Ebene.



Schiefe Ebene wird eine ebne Fläche genannt, die gegen
erechte Erdoberfläche geneigt ist. Man findet den Neigungs-
weider Ebenen, indem man von einem Punkte c ihrer Durch-
schnittslinie aus eine winkel-

Fig. 19.



rechte Linie $c a$ längs der schiefen
und eine winkelrechte Linie
 $c b$ längs der wagerechten Ebene
zieht. Das Loth $a b$ von einem
willkürlich angenommenen
Punkte a der Linie $c a$ auf $c b$

fällt, heisst Höhe, die Linie $c a$ Länge die Linie $c b$
linie (Basis) der schiefen Ebene, das Verhältniss der Höhe

ge, $\frac{a b}{a c}$, nennt man die Steigung einer schiefen Ebene.

ht bewegliche schwere Körper, wie Kugeln, Walzen u. s. w.
der schiefen Ebene entlang zu fallen, wiewohl nicht mit
xperimentalphysik.

der ganzen der Schwere entsprechenden Beschleunigung. Sie werden gleichsam durch eine im Verhältnisse der Höhe zur Länge 4 schiefen Ebne verringerten (der sogenannten relativen) Schwere getrieben.

Denn denkt man sich z. B. die Schwere der Kugel O (Fig. 19) durch Linie Og vorgestellt, so zerfällt dieselbe in einen Druck Oe , der durch Festigkeit der Bahn aufgehoben wird, und in die relative Schwere Og , gleichlaufend mit ac , welcher keine andere Kraft entgegensteht. Es verhält sich aber $Og : Og$ wie die Höhe ab zur Länge ac der schiefen Ebne. Ein Körper, ohne auf Hindernisse zu treffen, einer beliebig geneigten Bahn ac her gefallen ist, hat dieselbe Geschwindigkeit erreicht, als wäre er durch die Linie ac lothrecht gefallen; denn die Wirkung (die erlangte Geschwindigkeit) ist immer der Ursache (hier die Schwere des Körpers, welche in ihrer Richtung den Weg ac zurückgelegt hat) gleich seyn. Aus dem Falle auf der schiefen Ebne hat Galileo die Gesetze des freien Falls abgeleitet.

Um einem Körper, z. B. einer Kugel, auf der schiefen Ebne Gleichgewicht zu halten, ist eine Kraft erforderlich, von der Größe dass sie, was übrigens ihre Richtung sey, sich mit dem Gewichte des Körpers zu einem gemeinschaftlichen Drucke, winkelrecht auf die schiefe Ebne zusammensetzt.

Ist z. B. die Richtung dieser Kraft do der Linie ac gleichlaufend, so verhält sich die Größe derselben zum Gewichte des Körpers wie die Höhe ab zur Länge der schiefen Ebne. Der dieser Kraft gleiche Widerstand des Körpers heisst sein relatives Gewicht.

Steigende Strassen liefern Beispiele von durch schiefe Ebne bewirkten Widerständen, weil die Last ohne nützlichen Zweck gehoben werden muss. Dieser Widerstand verhält sich wie die Steigung.

Die Laufbrücke und Treppe sind Beispiele der Anwendung der schiefen Ebne als Maschine.

Auch der Keil und die Schraube sind Formen der schiefen Ebne. Schraube ohne Ende. Mikrometerschraube. Schraubenpresse.

Vom Reibungswiderstande.

138. Die Oberflächen der dichtesten und glättesten Körper, wenn sie durch dem Mikroskope gesehen, erscheinen bald mehr, bald weniger uneben. Liegen zwei Körper auf einander, so greifen diese Unebenheiten in einander ein, ähnlich wie die rauhen Oberflächen zweier Feilen. Dessenungeachtet zeigt sich, wenn ein abgeglätteter Körper über die glatte Oberfläche eines andern gleitet, nur eine geringe, oft kaum bemerkbare wechselseitige Abnutzung (durch das Stossen der Unebenheiten). Die gleitende Fortbewegung muss daher von einem fortdauernden Heben der Unebenheiten der einen Fläche über diejenigen der andern begleitet seyn. Mit der Bewegung der Fläche eines festen Körpers werden alle Theile seiner Masse gehoben, und dadurch bildet sich ein Widerstand von ganz ähnlicher Art wie beim Ersteigen einer schiefen Ebne. Er wird Reibung

and genannt, oder auch Widerstand der gleitenden

5.

Für den Reibungswiderstand gelten die folgenden Erfah-
 etze, durch welche die Vergleichung desselben mit dem
 nde während des Ersteigens einer schiefen Ebne vollkom-
 chtfertig wird:

Reibungswiderstand ist proportional dem Drucke, welchen
 leitende Körper auf seine Unterlage ausübt;

unabhängig von der Grösse der reibenden Flächen;

unabhängig von der Geschwindigkeit der Bewegung;

an verschiedenen Körperflächen ist er ungleich gross,
 aber bei allen durch Dazwischenbringen feiner, weicher
 3, insbesondere von Fetten, indem diese die Unebenhei-
 usgleichen, sehr bedeutend vermindert werden.

haffenheit (der Grad der Glätte) der über einander gleitenden FLÄ-
 t gleichsam den Grad der Steigung auf der hypothetisch angenom-
 eben Ebne, Die Last, welche gehoben werden soll, bietet einen dieser
 d ihrem eignen Gewichte proportionalen Widerstand (relatives Ge-
 . Eine demselben gleiche und entgegengesetzte Kraft hält der Rei-
 leichgewicht. Der gleitende Körper muss sich daher von jetzt an
 lge Masse verhalten, z. B. unter dem Einflusse einer neu hinzutret-
 st eine beschleunigte Bewegung annehmen (104).

Ein Bruch, welcher das Verhältniss der zur Ueberwindung
 ung erforderlichen Kraft zum Gewicht (Druck) des glei-
 örpers ausdrückt, wird der Reibungscoefficient

det z. B., dass um einen Schlitten, der mit Eisen beschlagen ist und
 -Schienen gleitet, auf welche er einen Druck von 1000 Pfund aus-
 chförmiger Bewegung zu erhalten, eine Kraft von 440 Pfund nöthig ist.

14 ist daher der Coefficient für die gleitende Reibung von Eisen auf

e Zahl mit der Last multiplicirt, die bewegt werden soll, gibt für
 chen Fall die Grösse des Reibungswiderstandes. — Sind die über
 leitenden Flächen gut abgeglättet, und schmiert man sie vor der Be-
 lichlich mit Fett (Talg, Schweinefett, Knochenöl eignen sich dazu am
 vermindert sich der Reibungscoefficient auf 0,08 — 0,05, und zwar
 glatten Flächen ohne Unterschied. Zur Fortbewegung obiger 1000
 de also in diesem Falle nur 50—80 Pfund Kraft erfordert werden.

Ein Körper, den man auf einer glatten Fläche fortzuschie-
 t, würde sich um seine vordere Kante drehen, wenn nicht
 ndfähigkeit (130) grösser wäre, als sein Reibungswider-
 onn nicht bei der Drehung sein Schwerpunkt mehr gcho-
 len müsste, als es bei dem Fortgleiten der Fall ist.

und Walzen sollten ihre Unterlagen, zu Folge bekannter
 afen des Kreises, nur an einem Punkte, oder eigentlich
 geraden Linie berühren; wegen der niemals fehlenden
 iten ist dies aber nicht der Fall, sie liegen immer auf ei-
 en Fläche und besitzen daher auch eine gewisse Stand-

fähigkeit. Der hieraus entspringende Widerstand während der Drehung wird wälzende Reibung genannt.

Räder, welche um ihre Axe leicht beweglich sind, nehmen, glatten Flächen fortgestossen, stets eine wälzende Bewegung. Es folgt hieraus, dass der Widerstand ihrer wälzenden Reibung geringer ist als der der gleitenden. Vergleichende Versuche haben gelehrt, dass erstere gewöhnlich nur $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{20}$ der letzteren macht. Die Grösse derselben ist übrigens direkt dem Drucke umgekehrt dem Durchmesser der Walze proportional. Verminderung der Bewegungshindernisse durch Verwandlung der gleitenden in die wälzende Reibung.

142. Bei allen Bewegungen, wobei die Oberflächen verschiedener Körper dauernd über einander gleiten oder wälzen, kann man die Reibung als einen Widerstand, dem zur Erhaltung des Gleichgewichtes eine bewegende Kraft entgegengesetzt werden muss. Der Weg, den die sich reibenden Punkte zurücklegen, entspricht mit der Grösse des Widerstandes selbst, wird das Lebewerkmoment genannt. Zur Erhaltung einer gleichförmigen Bewegung muss ein derselben gleiches Moment der bewegenden Kraft angewendet werden.

Z. B. die wälzende Reibung der Räder unserer Fuhrwerke legt denselben Weg zurück, wie ein Punkt der Radperipherie. Eben so gross ist der Weg der Zugkraft. Zur Wältigung des Widerstandes an der Strasse muss also stets demselben gleicher Theil der Zugkraft angewendet werden.

An den Axen der Räder findet gleitende (drehende) Reibung statt, die Grösse vom Drucke auf die Axe abhängt; sie legt für jede Umdrehung des Rades einen Weg zurück, welcher dem Umkreise des Zapfens gleich ist. Das zur Wältigung des Widerstandes an der Axe nöthige mechanische Moment der Kraft ist daher um so geringer, je kleiner der Durchmesser des Radzapfens gegen den des Rades ist.

Bei den Fuhrwerken kommt auf ebener und horizontaler Strasse kein anderer Widerstand vor, als der der Reibung. Durch dieselbe Zugkraft kann eine so grössere Last bewegt werden, je geringer die Reibungshindernisse sind.

Z. B. ein Pferd, welches täglich 125 Pfund Last 4,8 Meilen (eine Meile = 25,000 R. F.) weit tragen kann, vermag auf dieselbe Entfernung hin eine Last von 2500 Pfund zu ziehen:

Auf einer hölzernen Schleife	200
Auf derselben Schleife, wenn sie mit Eisen beschlagen ist	300
Auf derselben Schleife und auf guter Schneebahn	1200
Auf Rädern mit eisernen Axen, auf Landwegen	900
„ „ „ „ „ auf gut unterhaltenen Kunststrassen	2500
„ „ „ „ „ auf Eisenbahnen	30000

Aus dieser Vergleichung erklärt es sich leicht, warum Pferde, welche auf der gewöhnlichen Landstrasse ihre Zuglast mässigen Anhöhen ohne sehr deutende Vermehrung der Anstrengung hinaufzuschaffen vermögen, dies auf einer in gleichem Verhältnisse steigenden Eisenbahn nicht mehr zu thun Stande sind.

143. Die Reibung ist die Ursache des Feststehens (des Widerstandes gegen Verschiebung) der Körper auf ihren Unter-

irper, dessen Reibungswiderstand mit einer andern Kraft im Gleichgewichte steht, hat in der Richtung derselben das Vermögen nicht stehen verloren.

Ausgleiten auf glattem Boden ist die Folge zu sehr verringerter Reibungsverhältnisse. — Auf das Feststehen durch Reibung gründet sich die Wirkthätigkeit der Kräfte so wie des Dampfes, beim Zuge. Die Zugkraft der Dampfmaschine daher in manchen Fällen durch das Gewicht eines Reiters auf der Achse vermehrt werden; sie nimmt ab beim Ersteigen von Anhöhen. — Die Kraft eines Dampfzuges kann nie grösser seyn als der Widerstand der Reibung seiner Treibräder; letzterer beträgt $\frac{4}{100}$ vom Drucke, welcher auf die Treibräder auf der Eisenbahn ausüben. Der Widerstand der wälzenden Räder des gesamten Wagenzuges beträgt aber nur $\frac{1}{500}$ vom Gewicht desselben. Für je 100 Pfund Druck der Treibräder kann daher ein Gewicht bis zu 100 Pfund fortgezogen werden. Bei einer grösseren Ladung würden die Räder des Dampfzuges sich umdrehen, ohne die Stelle zu ändern; sie würden nicht mehr rollen. Ohne Vermehrung der Ladung vergrössert sich die Kraft beim Erklimmen von Anhöhen. Beträgt z. B. die Steigung $\frac{1}{500}$, so bedarf die Last um $\frac{1}{500}$ vom Gewichte der Ladung zu (134), d. h. sie verdoppelt die gleitende Reibung des Dampfzuges muss dann auch zu der doppelten berechnet seyn.

Von den Trägheitsmomenten.

Die verschiedenen Punkte eines festen, um eine feste Achse drehbaren Körpers vollenden sämmtlich in gleicher Zeit eine gleiche Anzahl von Umdrehungen. Man sagt: sie besitzen gleiche Umdrehungs- oder Winkel-Geschwindigkeit.

Die verschiedenen Massen in ungleichen Abständen von der Drehachse bedürfen, um gleiche Winkelgeschwindigkeiten anzunehmen, ungleicher bewegender Kräfte (107. 2), welche sich verhalten wie die Abstände.

Der Austausch die einfache Rolle der Fallmaschine mit zwei zusammenhängenden Rollen, deren Halbmesser sind wie 1 : 2. Jeder Punkt am Umkreise der kleinen Rolle bewegt sich mit der doppelten Geschwindigkeit eines Punktes an der grossen; werden um beide gleich grosse träge Massen vertheilt, so bedarf es an der grossen hängende Masse noch einmal so viel bewegende Kraft als an der kleinen, damit beide einerlei Winkelgeschwindigkeit annehmen. Will man das Uebergewicht (als bewegende Kraft), welches zur Bewegung an der grossen Rolle hängende Masse dienen soll, nicht an dem Umkreise der grossen, sondern an dem der kleinen Rolle wirken lassen, so muss das Vierfache anwenden, weil der Druck 4 am Hebelsarme 1 nur einmal am Hebelsarme 2 erzeugen kann. Um also einer träge Masse am Umkreise der kleinen Rolle dieselbe Umdrehungsgeschwindigkeit beizubringen, als ob sie am Umkreise der grossen Rolle befände, muss an diesem letzteren eine vierfache bewegende Kraft in Wirksamkeit treten; oder umgekehrt, wenn einer gegebenen Masse am Umkreise der grossen Rolle ein gewisses Uebergewicht beizubringen wollen, so wird dasselbe Uebergewicht, bei doppelter Entfernung von der Drehachse, nur dem vierten Theile derselben eine gleiche Umdrehungsgeschwindigkeit beizubringen vermögen. — Der aus diesem Beispiele geschlossen lässt sich allgemein so ausdrücken:

Zwei träge Massen in ungleichen Abständen von der Drehachse, wenn man jede für sich betrachtet, unter der Einwirkung einer gleichen Kraft, bewegen sich in demselben Hebelarme thätigen

Kraft, in gleicher Bewegungszeit dieselbe Umdrehungsgeschwindigkeit annimmt, verhalten sich umgekehrt wie die Quadrabstände. Wenn daher jede dieser Massen mit dem Quadrabstandes von der Drehaxe multiplicirt wird, so erhält man Producte.

Jeder solche Zahlenausdruck heisst das Trägheitsmoment der entsprechenden Masse. Der vorstehende Lehrsatz lässt daher jetzt kürzer auf folgende Art fassen:

Massen, deren Trägheitsmomente gleich sind, verhalten sich für gleiche Umdrehungsgeschwindigkeiten wie die statischen Momente ihrer bewegenden Kräfte.

Beispiel. Um den beiden auf dem Träger der Fallmaschine stehenden bei unbelasteten Tellern eine Beschleunigung (109) von 2 Zoll zu musste auf den Teller der kleinen Rolle ein Uebergewicht von 6,12 Grm. werden. Als man hierauf auf beiden Tellern der kleinen Rolle noch trüger Masse nebst 2 Grm. Uebergewicht, überhaupt also 362 Grm. M

theilte, so blieb die Beschleunigung der Bewegung wie vorher, weil von der Beschleunigung eines freifallenden Körpers nämlich von 3 gerade 2 Zoll ausmacht. Angenommen, der Halbmesser der kleinen 3 Zoll, so beträgt das Trägheitsmoment der anhängenden trüger Masse die Bewegung wird nun ganz ungeändert bleiben, wenn man die 360 Grm. nimmt, und dafür 90 Grm. trüger Masse um die grosse Rolle vertheilt $90 \cdot 6 \cdot 6 = 360 \cdot 3 \cdot 3$.

Eine Masse, welche in einer gewissen Entfernung von der Drehaxe Einfluss äussert, wie eine andere in einer andern Entfernung, nennt man dem letzteren an den ersteren Punkte reducirte Masse. 90 Grm. an der 6" ist die reducirte Masse von 360 Grm. am Hebelsarme 3". — gegebene Masse an einen beliebigen andern Punkte zu reduciren, wird ihr Trägheitsmoment durch das Quadrat der Entfernung dieses andern Punkte von der Drehaxe dividirt.

Die Theile eines um eine feste Axe beweglichen Körpers, besitzen ihren Abständen sehr ungleiche Trägheitsmomente. Durch Reduction an einen beliebigen Punkte lässt sich eine Masse bestimmen, welche denselben Einfluss äussert, wie alle Theile des Körpers zusammen, jeder an seinem Orte. Es ist vorher erwähnt worden, dass ein Uebergewicht von 6,12 Grm. auf der kleinen Rolle durch 6,12 Grm. Uebergewicht eine Beschleunigung erhielt, die $\frac{1}{181}$ von der Schwere, nämlich 2 Zoll betrug. Diese Beschleunigung ganz gleich derjenigen, welche dasselbe Uebergewicht auf eine Masse von 6,12. 181 = 1108 Grm., die um die kleine Rolle vertheilt sind, ausüben 1108 Grm. ist daher die an den Umkreis der kleinen Rolle reducirte Masse sämmtlicher Theile des beweglichen Systems.

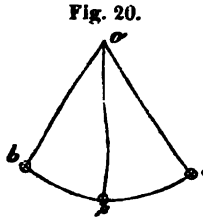
Durch die Kenntniss der Trägheitsmomente ist man im Stande, die Masse eines um eine feste Axe drehbaren Körpers, z. B. einer Maschine, zu betrachten, als befände sie sich in einem einzigen Punkte concentrirt. Man gewinnt dadurch ein einfaches Mittel, die Kraft zu berechnen, welche diese Maschine auf eine gewisse Geschwindigkeit zu bringen, oder auch umgekehrt aus der bereits vorhandenen Umdrehungsgeschwindigkeit die Umdrehungsgrösse der rotirenden Masse abzuleiten. Anwendung auf das Rad, als Sammler der Kraft und als Hilfsmittel, den Gang der Maschine röhlig zu machen.

Vom Pendel.

146. Der Name Pendel darf im Allgemeinen einem jeden um einen festen Punkt oder um eine Drehaxe schwingenden (oscillirenden) Körper gegeben werden. Ein schwerer Körper von so geringem Umfange, dass er mit einem materiellen Punkte verwechselt werden kann, an einem sehr dünnen, fast gewichtslosen Faden aufgehängt, wird insbesondere ein einfaches Pendel genannt.

147. Die Entfernung des schweren Punktes vom Aufhängepunkte eines einfachen Pendels heisst seine Länge. Die Pendelschwingungen bestehen aus zwei leicht zu unterscheidenden Theilen: einer beschleunigten und einer verzögerten Bewegung. Die letztere ist dem Falle, die letztere dem Steigen auf einer schiefen Ebene von veränderlicher Neigung zu vergleichen. Beim ersten Theile wirkt die Schwere als abnehmend beschleunigende Kraft, im zweiten Theile als zunehmend verzögernder Widerstand. —

Das Pendel kommt an den beiden äussersten Gränzpunkten jeder Schwingung einen Augenblick zur Ruhe, und besitzt, so oft es die ursprüngliche Gleichgewichtslage durchschreitet, seine grösste Geschwindigkeit. — Der zwischen den beiden äussersten Gränzen der Bewegung eingeschlossene Bogen ab (Fig. 20) ist die Schwingungsweite (Amplitude); der von der senkrechten Lage des einfachen Pendels und einer seiner äussersten Stellungen eingeschlossene Winkel sob oder soa wird Ausschlagswinkel (Elongationswinkel) genannt.



148. Die Bewegungsgesetze des einfachen Pendels, als eines unter dem Einflusse der Schwere oder einer ähnlichen gleichförmig fortwirkenden Kraft stehenden materiellen Punktes, lassen sich, auf die Grundlage der bereits vorgetragenen Fallgesetze, durch Rechnung ableiten. Diese Rechnung, deren nähere Entwicklung in die Mechanik gehört, hat zu folgender sehr einfachen Formel geführt, die alle Erscheinungen der Pendelbewegungen darstellt. Sie heisst:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

- t bedeutet hier die Zeit einer Schwingung;
- π das Verhältniss der Kreisperipherie zum Durchmesser;
- l die Länge des Pendels;
- g die Beschleunigung der Schwere.

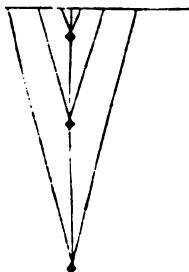
Aus dieser Formel ergeben sich folgende, durch das Experiment leicht zu bewährende Sätze:

- 1) Die Schwingungen eines und desselben Pendels sind selbst bei ungleichen Weiten gleichdauernd (isochronisch). Dieses Ge-

setz bestätigt sich jedoch nur für sehr kleine Schwingungswreiten.

- b) Bei Pendeln von gleicher Länge verhalten sich die Schwingungszeiten wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen.

Fig. 1.



Werden z. B. drei Pendel, deren Längen sich verhalten wie 1 Fuss zu 4 Fuss zu 9 Fuss (Fig. 21) zu gleicher Zeit in Schwingung versetzt, so findet man, dass das kürzeste allemal 6 Schwingungen macht, während das zweite deren 3 und das längste nur 2 vollendet. Also das zweite Pendel braucht zu der Schwingung noch einmal so viel Zeit, als das erste, das dritte dreimal so viel als das erste.

- c) Die Beschaffenheit des Stoffes, woraus das Pendel verfertigt worden, ist ohne allen Einfluss auf die Schwingungsdauer.

Mag man z. B. zu der kleinen Linse des Pendels Gold, Silber, Blei, Messing, Glas, Holz, Eis oder was immer für einen Stoff gewählt haben, — diese verschiedenen Pendel, wenn sie gleich lang sind, schwingen gleich. Daraus folgt, dass alle diese verschiedenen Körper der Anziehung der Schwere in ganz gleichem Verhältnisse der Grösse ihrer Masse proportionalem Verhältnisse unterworfen sind (111).

Aus der bekannten Schwingungszeit und Länge eines Pendels lässt sich die Beschleunigung der Schwere mit weit grösserer Schärfe ableiten, als aus den früher angegebenen Verfahrensarten. Man findet z. B., dass ein Pendel von 9 Par. Fuss Länge in einer Minute 35 Schwingungen vollendet. Die Dauer einer

Schwingung ist daher $\frac{60}{35} = \frac{12}{7}$ Sekunde. Also $\frac{12}{7} = 3,14 \sqrt{\frac{9}{g}}$, woraus sich ergibt $g = \frac{9 \cdot 7^2 \cdot 3,14^2}{12^2} = 30,19$ Fuss.

Dieselbe Beobachtung führt zu der Länge des Sekundenpendels, man setzt: $\frac{12}{7} : 1 = \sqrt{9} : \sqrt{x}$ (b). Hiernach ist die gesuchte Länge

$\frac{9 \cdot 49}{144} = \frac{49}{16} = 3\frac{1}{16}$ Fuss. Nimmt man nun einen kleinen, schweren Körper, z. B. eine Bleikugel, befestigt sie an einem dünnen Faden, misst an diesem von der Mitte der Kugel aus $3\frac{1}{16}$ Fuss ab, und klemmt den Faden an der abgemessenen Stelle ein, so erhält man ein Pendel, das in jeder Sekunde eine Schwingung macht.

149. Jedes Pendel, dessen Masse nicht mehr als ein materieller Punkt betrachtet werden kann, heisst ein zusammengesetztes Pendel. Unter der Länge eines zusammengesetzten Pendels

diejenige eines einfachen von gleicher Schwingungs-

unct des zusammengesetzten Pendels, dessen Entfernung Drehaxe seiner Länge gleich ist, wird sein Schwin- unct (centrum oscillationis) genannt. Dieser Punkt braucht gar nicht in der Masse des Pendels zu liegen.

isammengesetztes Pendel verhält sich ganz so wie ein von gleicher Länge, und kann daher mit diesem ver- werden.

wingungspunct besitzt, wie aus der Beziehung des zusammenge- dells auf ein einfaches von gleicher Schwingungsdauer erhellt, die ge Eigenschaft, dass, wenn die ganze träge Masse des Pendels an educirt wird, und wenn man sodann die bewegende Kraft des Pen- ch das im Schwerpunkte concentrirte Gewicht) an denselben Punkt ngungspunct) reducirt, beide reducirten Werthe durch dieselbe Zahl t sind; oder mit andern Worten: die an den Schwingungspunct re- ge Masse verhält sich wie eine schwere Masse von gleicher Grösse.

An einer sehr dünnen, beinahe gewichtslosen Pendelstange be- zwei Linsen, in der Entfernung 1 und 3 Fuss von der Axe. Jede wiegt is Trägheitsmoment der einen ist daher $5 \cdot 1^2 = 5$; das der andern ; beide zusammen, oder das Trägheitsmoment des ganzen Pendels, 50. Der unbekannte Abstand des Schwingungspunctes sey x , so ist

en Punkt reducirte träge Masse $\frac{50}{x^2}$. Der Schwerpunkt des Pendels

itte zwischen beiden Linsen, d. h. 2 Fuss von der Axe entfernt. Das uncte vereinigte Gewicht ist 10 Pfund, sein statisches Moment gleich

, folglich das an den Schwingungspunct reducirte Gewicht $\frac{20}{x}$. Nun

em Begriffe des Schwingungspunctes, dass $\frac{50}{x^2} = \frac{20}{x}$; daher $x = \frac{50}{20}$

t. dieser Aufgabe hervorgehende allgemeine Resultat sagt: dass die es zusammengesetzten Pendels gefunden werden kann, n sein Trägheitsmoment durch sein statisches Moment

denselben Werth durch den Versuch finden kann, erhellt aus dem Schwingungspunctes. Wenn man im Schwingungspuncte eines Pen- recht durch seine Längenrichtung eine Messerschneide anbringt, es und in diesem Punkte aufhängt, so wird der frühere Aufhänge- schwingungspuncte; d. h. das Pendel zeigt in beiden Lagen gleiche sdauer; jeder dieser Punkte besitzt beziehungsweise zum andern die merkwürdige Eigenschaft, dass die an denselben reducirte Pen- ch wie eine Gewichtsmasse von gleicher Grösse verhält. Ein sol- l mit zwei Axen wird Umdrehungspendel (Reversions- mannt.

ineleuchtend, dass der Abstand beider Schneiden von einander die bezeichnet. Dieses Verfahren bietet also ein äusserst scharfes Länge eines zusammengesetzten Pendels zu erforschen.

ge eines Pendels ist übrigens, wegen der Ausdehnung der Körper /Arme, veränderlich mit der Temperatur. Ein Sekundenpendel z. B., seine richtige Länge hat, wird bei niedrigerer Temperatur kürzere berer Temperatur längere Zeit als eine Sekunde brauchen, um eine ; zu vollenden.

Es ist gelungen, diesen Fehler durch dieselbe Ursache, welche i
 lasst, wieder auszugleichen (zu compensiren), da
 pensationspendel, — zuerst von Graham aus
 sey ein dünnes Glasrohr, welches mit einem wei
 Quecksilber gefüllten Glasgefässe s verbunden ist
 stellt die Linse dieser pendelartigen, bei a aufgehär
 richtung vor; s bezeichnet den Schwingungspunct
 senkt sich, wenn bei erhöhter Temperatur das Gla
 z. B. bis d verlängert. Allein das enthaltene Quecks
 sich vom Boden des Gefässes aus in entgegengeset
 aus; steigt es nun durch seine Volumsvergrößerung
 anfängliche Fläche bei n bis zu der Höhe e um eb
 als es durch die Ausdehnung des Glases gesenkt
 bleibt der Schwingungspunct ungeändert. Diese
 wird eintreten, wenn die Verlängerung der kleinen
 bersäule das Doppelte von der des Glases beträgt.
 Dieselbe Idee liegt andern Pendelcompensati
 dem allgemein bekannten Rostpendel zu Grunde.

Fig. 22.



150. Die Schwingungen eines Pendels von unverän
 Länge sind nur an demselben Orte von unveränderlich
 Dauer. Man findet, dass es auf dem Gipfel eines Berges
 trächtlicher Höhe langsamer schwingt, als am Fusse d
 und aus dem Gesetze, wonach diese Abnahme eintritt, m
 schliessen, dass die Anziehungskraft der Schwere sich
 Entfernung vom Mittelpuncte der Erde vermindert, und z
 gekehrt wie das Quadrat der Entfernung.

Z. B. an der Küste des stillen Meeres machte nach Bouguer un
 mine ihr Pendel während 24 Stunden 98,770 Schwingungen; zu Qu
 Fuss höher, 98,740 Schwingungen, und auf dem Pinchincha, in der
 14,968 Fuss, nur 98,720 Schwingungen. Diese Höhen, zu dem Erdhalb
 der Meeresküste = 19,630,000 Fuss addirt, und mit der Beschleun
 Schwere an diesen drei Orten (148) verglichen, führen zu dem erwähnt

Auf den Mond in einer mittleren Entfernung von 60 Erdhalbm
 demnach die Anziehung der Erde einen 60mal geringeren Einfluss ä
 auf einen Erdkörper. Ein Stein in der Entfernung des Mondes würd
 die Erde hin während einer Minute nicht tiefer fallen als an der Erd
 in einer Sekunde.

151. Durch Pendelbeobachtungen ist ferner der Bewei
 worden, dass die Schwere an der Erdoberfläche selbst v
 lich ist, dass sie nämlich vom Aequator nach den Polen hin :

Z. B. Ein Pendel, das in Paris täglich 98,891 Schwingungen mach
 dete deren zu Ponoï in Lappland in derselben Zeit 98,964. Der Grund
 in der Abplattung der Erde, theils in der durch die Umwälzung um ih
 wirkten Centrifugalkraft.

Es ist nunmehr einleuchtend, dass das Sekundenpendel an ver
 Orten der Erde nicht einerlei Länge haben kann. Zuweilen ist es nö
 Länge genau zu kennen. Sie lässt sich dann mittelst der Formel $l =$
 $+ 2,3862 \sin \varphi^2$ berechnen. $\sin \varphi$ bedeutet den Sinus der Breite (d
 grades) des Ortes, l wird in Par. Lin. gefunden.

152. In der Nähe grosser und steiler Felsmassen v
 Pendel gegen dieselben hin aus der senkrechten Lage ab
 Hierdurch ist bewiesen, dass die Erde nicht nur als Gan

n dass auch jeder einzelne Theil derselben eine Anziehung auf Pendelmassen ausübt. Das, was wir anziehende Kraft der Erde nennen, ist also nur die resultirende der Anziehungen, welche sämtliche Erdtheile gegen einen beliebig angenommenen materiellen Punkt äussern.

Wenn aber jeder Theil der Erde mit einem Anziehungsvermögen gegen alle anderen Theile derselben begabt ist, so folgt daher, dass das, was wir als Wirkungen der Schwere betrachten, Folgen einer wechselseitigen Anziehung sind. Ein fallender Körper in z. B. wird nicht nur von der Erde angezogen, sondern zieht derselben auch die Erde, und zwar mit gleicher Stärke, an. Seine Schwere, sein Bestreben zu fallen, ist das Product beider Wirklichkeiten; sie steht im geraden Verhältnisse zur Grösse der Erde, multiplicirt mit der Masse des Steines, und im verkehrten Verhältnisse zum Quadrate der Entfernung der Schwerpunkte beider Körper.

Die Wirkung eines jeden Erdkörpers auf die übrige Erdmasse ist mithin gerade so gross wie die der letzteren auf die ersteren. Wenn gleichwohl ein Stein auf die Erde fällt, und nicht das Umgekehrte stattfindet, so erklärt sich dies dadurch, dass die Bewegung der Erde gegen den Stein hin, in Betracht ihrer verhältnissmässig ganz ausserordentlich grossen Masse, nur verschwindend gering seyn kann.

Beide Wirkungen sind jedoch in der That und gleichzeitig vorhanden, dergestalt dass sie sich, in entgegengesetztem Sinne einander, wechselseitig aufheben, oder mit andern Worten: das allgemeine Gleichgewicht ungestört lassen.

Man hat geschlossen, dass das Vermögen, sich wechselseitig anzuziehen, nicht nur eine Eigenschaft der Erdtheile, sondern überhaupt aller Materie ist, dass folglich alle Weltkörper einander anziehen (Gravität). Diese Ansicht, die zuerst Newton aufgestellt hat, ist seitdem durch die Beobachtungen der Astronomen vollkommen bestätigt worden. Sie bildet die Grundlage zur Erklärung der Bewegungen der Himmelskörper. — Die Mechanik lehrt, dass die anziehende Kraft einer aus anziehenden Theilen zusammengesetzten kugelförmigen Masse auf einen Punkt ausserhalb der Kugel gerade so gross ist, als wenn die ganze Masse im Mittelpunkte der Kugel vereinigt. Um hiernach z. B. die Stärke der Anziehung zwischen Erde und Mond vergleichungsweise zur Stärke an der Erdoberfläche zu bestimmen, hat man das Product der Massen beider Weltkörper durch das Quadrat der Entfernung ihrer Mittelpunkte zu dividiren.

Da die Stärke, womit das Pendel von verschiedenen Körpermassen angezogen wird, unmittelbar der Grösse dieser Massen, und umgekehrt den Quadraten der Entfernungen der Mittelpunkte ihrer Wirksamkeit vom Pendel, proportional ist, so lässt sich, wenn von irgend einer Masse (z. B. von einem Berge) die Lage des Mittelpunctes der Wirksamkeit und Stärke der Einwirkung auf das Pendel genau bekannt sind, die Grösse der Erdmasse durch Rechnung bestimmen. Gestützt auf diese Betrachtung hat man wiederholt Versuche angestellt, die Stärke der Anziehung, welche Massen von bekannter Grösse auf das Pendel ausüben, ausfindig zu machen, und man hat daraus berechnet, dass die mitt-

lere Dichtigkeit der Erdmasse zwischen 4,5 — 5mal so gross ist, als die Wasserkörpers von gleichem Umfange. (Zu vergleichen Gehler's phys. Bd. 3, S. 950.)

153. Die gegenseitigen Einwirkungen der Körper, als Folge der in ihnen thätigen Kräfte, mögen es nun Anziehungen oder Abstossungen seyn, sind stets von der Beschaffenheit; dass sie gleichen und entgegengesetzten Bewegungseffecten entsprechen, dass zwei Körper, als zusammengehöriges System betrachtet, in welcher Weise sie auch auf einander einwirken mögen, dadurch ihre Beziehungen nach Aussen nicht ändern können. D. h. der gemeinschaftliche Schwerpunkt oder Wirkungsmittelpunct beider Massen kann durch ihre wechselseitigen Anziehungen oder Abstossungen nicht verrückt, noch, insofern er sich bereits in Bewegung befinden sollte, das Gesetz oder die Richtung derselben verändert werden.

Die Kraft, womit das entzündete Pulver eine Kugel fortreibt, wirkt nur mit derselben Stärke auch im entgegengesetzten Sinne; daher das Stossen der Büchse, das Zurücktreten der Kanone im Augenblicke der Explosion.

Kein Mensch vermag durch die inneren Kräfte seines Körpers allein ohne Beihülfe äusserer Kräfte oder doch eines äusseren Stützpunktes die Lage seines Schwerpunktes zu verrücken. Z. B. der fallende menschliche Körper, einmal von jeder Stütze entfernt, verhält sich wie jede andere schwere Masse, er vermag durch die blossе Anstrengung seiner Muskeln seine Bewegung weder zu beschleunigen, noch zu verzögern, noch die Richtung derselben zu ändern. Jede Aeusserung unserer Muskelkraft wirkt mit gleicher Stärke nach zwei entgegengesetzten Richtungen. Durch die Muskelkraft der Hände können wir z. B. unsern Körper, indem wir die Handhabe mit derselben Kraft (nämlich dem Gewichte des Körpers) abwärts ziehen. Ein Mensch, der auf der Schale einer Wage steht, kann daher, unabhängig von jedem äusseren festen Punkte durch keine Anstrengung seiner Muskeln das einmal eingetretene Gleichgewicht stören.

Die im vorigen Paragraphen erwähnte gegenseitige Anziehung der Erdtheile ist also nur ein besonderer Fall eines allgemeinen Gesetzes. Wir sehen jetzt, dass der Schwerpunkt der Gesamtmasse der Erde nicht nur nicht durch den Fall, sondern auch nicht durch das Aufsteigen einzelner Erdkörper geändert werden kann, ja dass keinerlei Art irdischer Bewegungen, selbst nicht die heftigsten Erdbeben und vulkanischen Ausbrüche, den Schwerpunkt der Erde in im mindesten aus seiner Bahn zu bringen vermögen.

Auch die verschiedenen Weltkörper unseres Sonnensystems bilden ein System, ihre wechselseitigen Anziehungen zusammengehöriges Ganzes. Die Bewegung nur eines einzigen Gliedes dieses Systems bedingt die Bewegung aller übrigen, dergestalt dass sie sich um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt stets im Gleichgewichte erhalten. Der Standort der Sonne im Weltraume würde nur dann ein unveränderlicher seyn können, wenn ihr Mittelpunkt zugleich der Schwerpunkt des ganzen Sonnensystems wäre.

Von der Wage.

154. Die Wage besteht im Wesentlichen aus drei Theilen: ein festes Unterlage, als Stütze für die Axe des Wagebalkens, dem Wagebalken selbst und den Wageschalen.

Der Wagebalken ist ein doppelarmiger Hebel, die Anhängen

Die Schalen sind die Angriffspunkte von Kraft und Last. Sind die Entfernungen dieser Punkte vom Stützpunkte gleich, so sind sie gleicharmig, sonst ungleicharmig. Die Wage, die sich auf diese Punkte stützt, ist die gleicharmige oder ungleicharmige Wage.

Die Bedingungen guter Wagen gelten mit gleichem Rechte derselben. Wir werden uns jedoch bei den folgenden Erörterungen auf die gleicharmige oder Gleichwage beziehen.

Die Schalen und Balken bilden ein zusammengesetztes Pendel. In der Bewegung gesetzt oscilliren sie um den Stützpunkt. Hieraus von selbst, dass der Schwerpunkt der Wage unter dem Stützpunkte liegt.

Die Schalen für sich genommen, bildet wieder ein Pendel. In jeder Schwingung desselben wird sein Schwerpunkt nach dem Stützpunkte der Wage genähert und wieder entfernt, also das Verhältniss der Hebelsarme von Kraft und Last verändert. Man sieht hieraus, dass eine Wage nur während des ruhigen Zustandes der Schalen die Gleicharmigkeit erhalten kann. Die Wage soll als Hilfsmittel dienen, die Gewichte der Körper zu vergleichen. Die Erreichung dieses Zweckes knüpft sich an zwei Bedingungen, welche jede gute Wage erfüllen muss: Richtigkeit und Empfindlichkeit.

Die Wage ist richtig, wenn der Wagebalken ohne anhängende Gewichte mit den Schalen und nach Verwechslung derselben stets in der horizontalen Stellung behauptet, oder doch in dieselbe zurückkehrt. Ferner ein auf die eine oder andere Schale gebrachtes Gewicht, bei unbelasteter wie belasteter Wage, stets denselben Ausschlag bewirkt.

Die Wage ist empfindlich, wenn die kleinsten, bei den Abwägungen benutzten Gewichtstheile, als Uebergewicht einen Ausschlag von sehr bemerkbarer Grösse bewirken.

Die wagerechte Stellung des Balkens, so wie die Grösse des Ausschlagwinkels sicher zu erkennen, befindet sich an dem Zeicher, der sich vor einem feststehenden Gradzeiger befindet. Als Zeicher dient entweder der verlängerte Hebelarm oder ein besonderes, aus der Mitte des Wagebalkens auf- oder abgerichtetes Stück (die Zunge). Der Ausschlagwinkel ist desto deutlicher zu erkennen, je länger der Zeicher ist.

Die Genauigkeit der Empfindlichkeit einer Wage beruht theils auf den Umständen, wonach, theils aber auch auf der Genauigkeit und Vollständigkeit, womit sie ausgeführt ist. Nur die ersteren können den Grund einer wissenschaftlichen Erörterung bilden.

Man denke sich eine Wage, so gebaut, dass ihr Schwerpunkt genau unter dem Stützpunkte fällt. Diese Wage wird keine bestimmte Gleichgewichtslage annehmen, sie kann nicht als Pendel schwingen, sondern nur ein kleines Gewicht unterhalb des Stützpunktes zu setzen, so wie von diesem Augenblicke an nur in einer einzigen

Lage zur Ruhe kommen, in der nämlich, worin der Schwerpunkt des zugefügten Gewichtes lothrecht unter dem Stützpunkte liegt.

Der grösste Theil der Masse einer jeden Wage ist um den Stützpunkt herum gleichförmig vertheilt, so dass immer nur ein verhältnissmässig sehr kleiner Theil ihres Gewichtes das Bedingende ist für die Herstellung der Ruhelage. Je kleiner dieser Theil das sogenannte Schwingungsgewicht, je geringer der Abstand seines Schwerpunktes vom Stützpunkte, in Vergleich zu der Entfernung der Aufhängepunkte der Schalen von demselben Stützpunkte, um so empfindlicher ist die Wage.

Eine empfindliche Wage muss den höchsten Grad der Beweglichkeit besitzen, und soll also gar nicht oder doch nur unmerklich auf ihrer Unterlage reiben. Sie darf daher nicht auf Zapfen, wie z. B. die Rolle, sondern muss auf einer scharfkantigen Messerschneide, d. h. auf der Kante eines dreieckigen Prismas, von hartem Stahle und von 40—60° Neigung der Seitenflächen ruhen. Auch die Unterlage muss aus hartem Stahle, oder besser noch aus Achat verfertigt sein, und muss der Messerschneide, so weit sie beide berühren, eine ebne, wagerechte Fläche darbieten, damit etwa noch vorhandene Reibung nur als wälzende Reibung Vorschein treten kann.

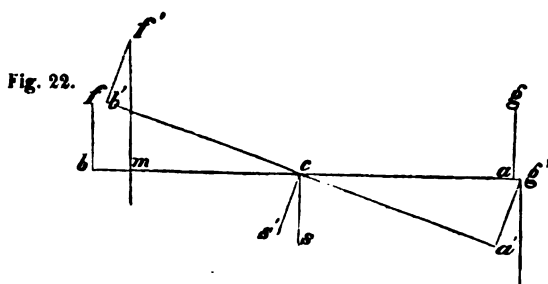
Vorrichtungen zum Schonen der Schneide und ihrer Unterlage, so wie die Feststellen der Wage. Bei den feinsten chemischen Wagen ist eine scharfkantige Schneide unerlässlich. Bei solchen Wagen jedoch, die bestimmt sind, Lasten von einem oder mehreren Pfunden zu tragen, pflegt man die scharfe Kante etwas abzustumpfen oder abzurunden, um dadurch das Einschneiden in die Unterlage zu vermeiden.

Das Aufhängesystem der Schalen muss auf dieselbe Weise und mit gleicher Sorgfalt, wie das des Wagebalkens ausgeführt seyn, damit die Schalen, jede um ihre Axe, eine gleich vollkommene Beweglichkeit besitzen, und daher mit Sicherheit stets in die Ruhelage zurücktreten, in welcher ihr Schwerpunkt lothrecht unter dem Aufhängepunkte liegt.

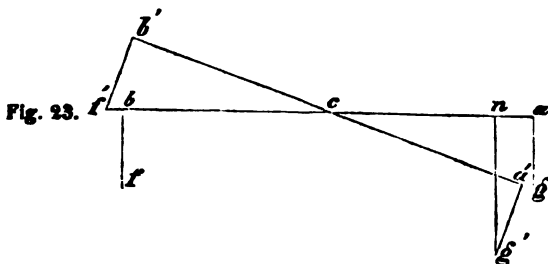
Die drei Schneiden müssen genau gleich gerichtet seyn und in einer und derselben ebenen Fläche liegen. Die beiden äusseren müssen von der mittelsten genau gleich weit entfernt stehen. Von diesen Bedingungen hängt die Richtigkeit, zum Theil aber auch die Empfindlichkeit ab.

Laufen die drei Axen nicht parallel, oder sind die äusseren von der mittelsten ungleich weit entfernt, so sind die Hebelsarme ungleich. Die Wage kann folglich nicht als Gleichwage benutzt werden.

Ueber die Mittel, die Schneiden richtig zu stellen, vergleiche man die Platte II. (Wage des Chemikers) gehörige Beschreibung.



Stehen die Axen der Schalen g und f (Fig. 22) höher als der Stützpunkt c der Wage, so vergrößert sich bei erfolgtem Auslage der Hebelarm der sinkenden Schale, während der der steigenden kleiner wird. Z. B. für einen Ausschlagswinkel $a c a'$ ersterer um $a g'$ vergrößert, letzterer um $b m$ verkleinert. Eine solche Wage ist also nur in der wagerechten Stellung gleichgültig; sie wird ungleicharmig, sobald man sie schwingen lässt. Wegen, die mit diesem Fehler, welcher sie gänzlich unbrauchbar macht, behaftet sind, erkennt man daran, dass bei zunehmender Belastung, jedoch gleichbleibendem Uebergewichte, der Ausschlag abnimmt, und dass bei fortwährender Vergrößerung der Belastung die Wage endlich umfällt. Der Grund ist, weil durch dieses Verleeren der gemeinschaftliche Schwerpunkt der beladenen Wage allmählig über den Schwerpunkt s des Schwingungsgewichtes geht und endlich über den Stützpunkt selbst gebracht wird.




Stehen die Axen der Schalen g und f niedriger als der Stützpunkt c , so verkürzt sich der Hebelarm der sinkenden Schale, während der der steigenden grösser wird. Z. B. wieder für den Ausschlagswinkel $a c a'$ wird ersterer um $a n$ verkürzt, letzterer um $a g'$ vergrößert. Eine solche Wage ist also ebenfalls unrichtig. Man erkennt diesen Fehler aus der Abnahme der Empfindlichkeit bei zunehmender Belastung.

Befinden sich die Axen der Schalen mit der Hauptaxe genau in derselben Ebene, so liegt auch der gemeinschaftliche Schwerpunkt

des auf beide Anhängepuncte wirkenden Druckes in dieser also für die Bedingung gleicher Belastung in dem Stützpunkte Das Schwingungsgewicht bleibt daher, so lange sich der balken nicht biegt, ungeändert, die Empfindlichkeit bleibt Auch ist leicht einzusehen, dass nur in diesem einzigen Fa Wage in jeder Lage sich gleicharmig erhält. Bei einer welche nach diesen Grundsätzen richtig gebaut ist, bewirk nur ein gegebenes Uebergewicht innerhalb der Gränzen er Belastung stets einerlei Ausschlag, sondern es ist auch die dieses Winkels der Grösse des Uebergewichtes fast gena portional. Die Grösse des Ausschlages gestattet daher bei Bekanntschaft mit einer Wage einen ziemlich sicheren Schl die Grösse des Uebergewichtes.

Man weiss z. B., dass bei einer gewissen Wage 1 Milligrm. Ueber einen Ausschlag von 2° bewirkt. Bei einer Abwägung ergibt sich ein Av von 10° , so folgt, dass auf der Seite der Senkung noch 5 Milligrm. zu v — Streng genommen muss, wenn der Ausschlag in arithmetischem Verl zunehmen soll, das Uebergewicht zunehmen, wie die Tangente dieses Be Winkeln unter 20° weicht jedoch das Verhältniss der Tangenten von zugehörigen Bögen um keine hier in Betracht kommende Grösse ab.

Das Zeichen des hergestellten Gleichgewichtes ist:  Zeicher der Wage auf den 0 Punct des Gradbogens einspan wöhnlich geschieht dies erst nach einer Reihe von Schwing Das Schwingungsgewicht, als die einzige Triebkraft für die und Herbewegungen, hat dabei nicht nur seine eigne Mass dern auch die ganze träge Masse der Wage sammt Belast Bewegung zu setzen. Empfindliche Wagen schwingen da mer langsam; um so langsamer, je massiver sie gebaut si je mehr Masse sich an den äussersten Puncten befindet d. h. je länger die Arme der Wage, je schwerer die Scha grösser die Belastung. — Langsamkeit der Schwingungen i ein grosser Uebelstand bei häufigem Gebrauche der Wage. S und Wagebalken dürfen daher nicht schwerer seyn, als ihre keit durchaus erfordert. Die durchbrochnen Wagebalken ver die grösste Festigkeit mit der geringsten Masse. Ferner sol Hebelsarme so kurz seyn, als es mit dem bequemen Eintrag Gewichte und abzuwägenden Gegenstände in die Schalen verträglich ist, weil diese kleineren Dimensionen nicht i Allgemeinen einen leichteren Bau der Wage gestatten, s weil namentlich auch die Grösse des Abstandes der äuss Punkte von der Axe und folglich das Trägheitsmoment der bedeutend dadurch gemindert wird.

Durch Berücksichtigung dieser Dinge kann die Wage bei einem hohe der Empfindlichkeit dennoch sich wie ein Pendel von mässiger Län halten. — Bei den feinsten Wagen, namentlich zum Gebrauche der C pflegt man entweder oberhalb oder unterhalb des Stützpunktes eine l stehende Schraube anzubringen, an welcher ein kleines Gewicht auf un

bewegt werden kann. Durch diese Vorkehrung lässt sich der Schwerpunkt heben und senken, und dadurch nach Befinden die Wage empfindlicher machen, oder auch ihre Empfindlichkeit mässigen *). — Auf empfindlichen Wagen kann man, selbst wenn sie unrichtig sind, das wahre Gewicht eines Körpers ausmitteln, indem man ihn zuerst auf die gewöhnliche Weise abwägt, dann aus seiner Schale nimmt und sehr genaue Gewichte an seine Stelle legt, so lange bis wieder Gleichgewicht eingetreten ist.

Die ungleicharmigen Wagen sind meistens dazu bestimmt, um mit kleinen Werten grosse Lasten richtig abzuwägen. Bei der Decimalwage z. B. ist der Hebelarm der Gewichte 10mal so lang als der der Ladung. Letztere wiegt also 10mal so schwer als die Gewichte, wodurch man sie ins Gleichgewicht bringt hat. Die allgemein bekannte Strassburger Brückenwage ist eine Decimalwage.

Vom Princip des ungleicharmigen Hebels hat man auch bei den feinsten chemischen Wagen eine sehr nützliche Anwendung gemacht. Die Entfernung

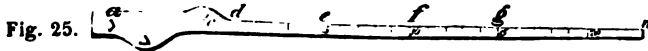
Die Platte II. enthält die vordere Ansicht einer feinen chemischen Wage in natürlicher Grösse, nebst allem zum Zwecke der Ausführung wünschenswerthen Detail. — Fig. 2, 3 und 4 zeigt eine Vorrichtung die Wage in Ruhe zu stellen, welche zuerst bei den Wagen von Oertling angewendet worden ist. Das dreikantige Stahlprisma *bb*, die Axe der Wage, ruht während des Gebrauchs auf zwei Achatplatten *aa*, Stücken derselben wahren ebenen Ebene und mit der Säule, die das ganze Werkzeug trägt, unverrückbar fest verbunden. Diese feste Unterlage ist von einem auf und nieder beweglichen Rahmen *dd* umgeben, der mit einer Stange im Innern der Säule zusammenhängt, mittelst eines excentrischen Rades im Fusse der Säule gehoben werden kann, und durch eine schraubenförmig gewundene Feder am obern Ende der Stange herabgedrückt wird. In dem Rahmen befinden sich vertical unter den beiden Enden der Stahlschneide zwei Einschnitte, geeignet um, wenn man den Rahmen hebt, die Schneide aufzunehmen und von ihrer Achatunterlage abzuheben; zugleich greifen die Arme *c* eines Querstückes *gg* unter entsprechende Stellen des Wagebalkens, wodurch dieser festgestellt wird.

Fig. 5 und 6, in natürlicher Grösse gezeichnet, zeigt ein sehr zweckmässiges Aufhängesystem der Schalen, welches Hoss bei seinen Wagen in Anwendung bringt. Die stählernen Haken, woran die Schalen aufgehängt werden, haben (Fig. 6) eine beträchtliche Breite, damit das Gewicht der Schale auf mehreren Punkten der Schneide ruht, und letztere also weniger abgenutzt wird. Um nun aber die Haken zu verhindern, an den Seiten des Wagebalkens anzustreifen, wodurch die freie Beweglichkeit leiden müsste, besteht die Schneide aus zwei Stücken, die an den zugekehrten Seiten von unten so ausgeschnitten sind, dass sie nach oben spitz zulaufen. Zwischen diesen Spitzen ist gerade so viel Spielraum gelassen, um einer dünnen Messingscheibe, welche in der Mitte des Hakens angebracht ist, freie Bewegung zu gestatten. Durch diese Anordnung ist eine Verrückung des Hakens unmöglich gemacht. Um die Länge der Hebelarme bequem justiren zu können, sind die stählernen Endstücke *lm*, an welchen sich die Schneiden befinden, beweglich gemacht. Zur Verrückung dient die Schraube *n*, deren Gewinde in den Wagebalken eingeschritten ist, und die zugleich in eine Vertiefung des beweglichen Endstückes einpresst. Auf derselben Stahlplatte *lm* sitzt ein Stift *s*, der mit etwas Spielraum in eine entsprechende Vertiefung des Wagebalkens eingeht. Mittelst der Schraube *m'* und einer ähnlichen auf der hintern Seite des Wagebalkens lässt sich der Stift um etwas Weniges verrücken, wodurch es möglich wird, den etwa fehlenden Parallelismus der drei Schneiden leicht und mit Sicherheit herzustellen.

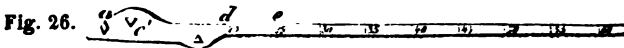
*s Experimentalphysik.

vom Stützpunkte bis zum Aufhängepunkte der Schale auf jeder Seite des Balkens ist durch Feilstriche in 10 gleiche Abtheilungen gebracht. Legt man z. B. auf den 6ten Theilstrich vom Stützpunkte aus ein Gewicht, so wirkt es gerade so wie $\frac{1}{10}$ desselben Gewichtes in der Wagschale. Man ist also diese Anordnung in den Stand gesetzt, mit den kleinsten vorhandenen Gewichten bis zur Genauigkeit von $\frac{1}{10}$ abzuwiegen.

Eine ungleicharmige Waage, deren Gebrauch sehr verbreitet ist, die Schnellwaage, so genannt, weil das Wiegen durch blosses Verrücken des Gewichtes, des sogenannten Laufgewichtes, auf dem langen Hebelsarm geschieht. Die Einrichtung dieser Waage ist übrigens leicht zu verstehen.



Es sey (Fig. 25) c der Stützpunkt der Schnellwaage, die Schale ruht auf der Schneide a, das Laufgewicht ist von d nach n verrückbar. Gesetzt, die Schale ist mit einem dem seinigen gleichen Gewichte in der Schale das Gleichgewicht zu halten, von d nach e, so dass $d e = a c$, vorgerückt werden. Dann ist das statische Moment des Laufgewichtes $P \cdot c \cdot e$, welches hierdurch erhalten bleibt, nichts anderes als das frühere Moment $P \cdot c \cdot d$, das dem Momente der Schale entspricht, vermehrt um das Moment $(P \cdot a \cdot c = P \cdot d \cdot e)$ der Ladung, so leicht ist einzusehen, dass das Laufgewicht in der Stellung f der Ladung der Schale, in der Stellung g der Last 3 P das Gleichgewicht hält. Wenn nun das Laufgewicht z. B. 5 Pfund schwer, so kann man die Abtheilungen e f, f g u. s. f. je in 5 Unterabtheilungen bringen, von welchen jede 1 Pfund mehr bezeichnet.



Die Schnellwaage ist gewöhnlich so eingerichtet, um darauf mit dem Laufgewicht auch grössere Lasten, als z. B. 20 Pfund, abzuwiegen zu können. Man dreht sie zu diesem Zwecke herum und macht die Schneide c zum Stützpunkte, während die Schale, wie vorher, auf der Schneide a ruht. Der Arm hat jetzt das Uebergewicht, aber ein in die Wagschale zugegebenes Gewicht, am besten das Laufgewicht selbst, stellt das Gleichgewicht wieder her. Hängt man hierauf das Laufgewicht an den Punkt d, so gewählt, dass $d e = 3 \cdot a c$, so bedarf man zur Herstellung des Gleichgewichtes, in der Schale eine Ladung $= 4 P$, oder in unserem angenommenen Beispiele, da $P = 5$ Pfund einer Ladung von 20 Pfund. Der Punkt e ($d e = a c$) entspricht dem Punkte d u. s. w.

Den Angaben der Schnellwaage wird häufig kein grosses Zutrauen gewährt, weil man keine einfache und sichere Controlle für die Richtigkeit derselben besitzt. Eine solche Controlle würde sich jedoch leicht erhalten lassen, wenn eine gesetzliche Vorschrift bestände, wonach das Laufgewicht immer eine bestimmte Anzahl Pfunde, z. B. genau 4 oder 5 Pfund betragen, und wonach dieser Betrag auf dem Stücke selbst angezeigt seyn müsste.

Bewegungen in krummer Linie.

155. Die geradlinigte Bewegung kann immer angesehen werden als die Folge der Wirksamkeit einer einzigen Kraft, die entweder ursprünglich vorhanden war, oder aus der mittleren Wirksamkeit mehrerer Kräfte hervorging.

Krummlinigte Bewegungen lassen sich nicht auf eine e

sache zurückführen; sie entstehen, wenn ein Körper, nachdem unter dem Einflusse einer gewissen Kraft eine gewisse Geschwindigkeit bereits gewonnen hatte, durch eine andere Kraft bewegende Kraft oder Widerstand) nach einer andern Richtung trieben wird.

So ist z. B. die Bahn eines in wagerechter oder schiefer Richtung geworden Körpers eine krumme Linie, weil er von dem Augenblicke an, da er sich losgelassen ist, durch die Schwerkraft mehr und mehr von der anfänglichen Richtung abgelenkt wird. — Die Bewegung geworfener Körper lässt sich durch die Bahn eines unter verschiedener Neigung springenden Wasserballs anschaulich machen.

Das Gesetz, dass ein Körper unter der Einwirkung mehrerer Kräfte sich gerade verhält, als werde er von einer nach der andern, von jeder eine entsprechende Kraft getrieben (134), bildet eine ganz sichere Grundlage zur Berechnung dieser Bewegungen. Z. B. die Bewegung einer mit 1000 Fuss Geschwindigkeit wägetriebenen Kanonenkugel ist eine krumme Linie. Diese Kugel wird sowohl (abgesehen von dem Widerstande der Luft) nach einer Sekunde in wagerechter Richtung 1000 Fuss entfernt und lothrecht 15 Fuss gesunken seyn.

Wenn die Ablenkung eines bewegten Körpers aus der geraden Linie durch den Widerstand, wie bei dem einfachen Pendel durch die Festigkeit des Fadens bedingt ist, so entsteht die Art krummliniger Bewegung, welche man Bewegung auf vorgezeichneter Bahn nennt. Der Widerstand wirkt gleich einer Kraft, welche sich mit der bereits vorhandenen Ursache der Bewegung in jedem Augenblicke zu einer Resultirenden von veränderter Richtung zusammensetzt. Weil aber diese jeden Augenblick neu hinzutretende Kraft (der Widerstand) in ihrer Richtung keinen Weg zurücklegt, oder mit andern Worten: weil sie kein Bewegungsmoment hat, so kann durch ihre Wirklichkeit die vorhandene Bewegung selbst (die Grösse der Bewegung) nicht geändert werden. Z. B. das fallende Pendel erlangt seine Geschwindigkeit nur durch die Schwere; sie ist daher zu jeder Periode der niedergehenden Bewegung nur von der lothrechten Fallhöhe abhängig. Ueberhaupt erlangt ein Körper auf den verschiedensten krummlinigten Bahnen bei gleicher lothrechter Fallhöhe stets gleiche Geschwindigkeit. — Eine träge Masse, die sich um eine feste Achse dreht, erhält die ihr einmal ertheilte Geschwindigkeit unveränderlich, weil ihr gegen die Achse gerichteter Widerstand in jedem Augenblicke zwar die Richtung der Bewegung aller materiellen Theile geändert wird, aber kein neuer Bewegungseffect hinzutritt.

156. Die Bewegung eines jeden Körpers um einen festen Punkt setzt voraus: eine Anziehung, welche von diesem Punkte ausgeht, oder im Allgemeinen einen gegen den Mittelpunct gerichteten Druck (Centripetalkraft), und eine Geschwindigkeit, welche jedem materiellen Theilchen winkelrecht auf die Richtung der Anziehung bereits ertheilt worden ist (Tangenten- oder Tangentialkraft). Ein Körper durch die Centripetalkraft allein getrieben, bewegt sich gegen den festen Punkt; dagegen unter dem Einflusse der Tangentialkraft sucht er eine Richtung zu behaupten, welche winkelrecht steht, sie auf dem Radius seines augenblicklichen Ortes stets winkelrecht steht, einem Streben entspricht, sich aus der Kreisbahn zu entfernen, und also auch vom festen Mittelpuncte zu entfernen. Die Folge dieses Strebens ist ein Druck in entgegengesetztem

Sinne der Centripetalkraft. Er wird Centrifugalkraft genannt. Sind beide entgegengesetzten Kräfte gleich, so kann sich ein ihre Einflüsse unterworfenen materieller Punkt weder dem festen Punkte nähern, noch davon entfernen. Es entsteht die Kreisbewegung.

Die Kreisbewegung setzt also voraus: eine gewisse, jedem Theile der rotirenden Masse beigebrachte Geschwindigkeit und eine gegen den Mittelpunct oder gegen die Axe der Bahn gerichtete Anziehung, von der Stärke, dass der aus der Tangentialbewegung entspringenden Centrifugalkraft fortdauernd das Gleichgewicht gehalten wird. Wenn die Masse des rotirenden Körpers um die Axe so vertheilt ist, dass die Wirkungen der Centrifugalkräfte sämtlicher materieller Theile auf die Axe einander aufheben, so wird letztere eine freie Axe genannt. Z. B. die Axe der Erde ist eine freie Axe. Auch der auf einem Punkte rotirende Kreisel hat eine freie Axe.

Beweise für das Auftreten der Centrifugalkraft lassen sich leicht von jedem um einen festen Punkt wälzenden Körpermasse ableiten. Z. B. ein Schwere an einem Faden befestigter Körper, den man im Kreise schwingen lässt, bis den Faden bis zum Zerreißen spannen. Die Schleuder.

Die Centrifugalkraft der Erde, bewirkt durch die tägliche Umdrehung um ihre Axe, ist die Ursache der Abplattung nach den Polen hin. Jeder Körper, aus verschiebbaren, übrigens zusammenhängenden Theilen bestehend, erleidet bei der Umwälzung um einen Durchmesser eine ähnliche Abplattung. — Körper, die man aus beträchtlicher Höhe herabfallen lässt, schreiben zu Folge der Centrifugalkraft einen Weg, der von dem Lothe merklich abweicht. (Benzenberg.)

157. Beschleunigende oder verzögernde Kräfte, welche Theile eines Körpers ausserhalb seines Schwerpunktes gerichtet sind, bewirken eine Umdrehung der ganzen Körpermasse um den Schwerpunct, weil dieser der einzige Punkt des Systems ist, dessen Lage durch die Einwirkung der Körpertheile auf einander keine Aenderung erleiden kann (153). Durch diese Bewegung hat jeder Theil das Gleichgewicht nach Aussen keine Störung erlitten, es ist folglich auch kein der Grösse der von Aussen her einwirkenden Kräfte entsprechender Effect hervorgebracht. Der Körper empfängt eine ausser der drehenden um seinen Schwerpunct noch eine zweifach geradlinigte Bewegung, ganz so, wie es hätte geschehen müssen, wenn die Kraft unmittelbar gegen den Schwerpunct wäre gerichtet gewesen, und als ob die ganze Masse in demselben Punkte vereinigt wäre.

Beispiel. Der Schwerpunct einer Kugel erhält auf der schiefen Ebene der Intensität der Schwere und der Neigung der Bahn entsprechende Beschleunigung. Durch den Widerstand der Bahn auf den Umkreis der Kugel wird Bewegung in die rollende verwandelt, übrigens gerade um so viel verzögert, als wirkte der Widerstand der wälzenden Reibung unmittelbar in den Schwerpunct der Kugel.

Excentrischer Stoss.

158. Wenn die Bewegungsbahnen der Schwerpunkte zweier zusammenstossenden Körper auf ihrer gemeinschaftlichen Berührungsebene senkrecht stehen, so wird der Stoss ein gerader genannt. Bilden die Bewegungsbahnen der Schwerpunkte mit der gemeinschaftlichen Berührungsebene andere als rechte Winkel, so heisst der schiefe Stoss. Der Stoss heisst central, wenn die gerade Linie, welche die Schwerpunkte beider Massen verbindet, zugleich durch ihren gemeinschaftlichen Berührungspunct geht, wie dies z. B. beim Zusammenstossen zweier Kugeln immer geschehen muss. Wo es nicht der Fall ist, wird der Stoss ein excentrischer genannt.

Bei den früher (118) vorgetragenen Stossgesetzen war nur der centrale gerade Stoss berücksichtigt worden. Die Wirkung des centralen schiefen Stosses kann indessen auf die des geraden leicht zurückgeführt werden, indem man sich die Bewegungsbahnen der beiden schief zusammenstossenden Körper nach dem Satze des Parallelogramms der Kräfte (136) so zerlegt denkt, dass vier Bewegungen entstehen, von welchen zwei an Grösse einander gleich und in der Richtung entgegengesetzt sind, folglich einander aufheben, die beiden andern gleich gerichtet sind, und folglich sich zu einander fügen.

Wenn ein Körper einen excentrischen Stoss erleidet, so erhält sein Schwerpunkt eine fortschreitende Bewegung, ganz so wie beim centralen Stosse; zugleich entsteht eine Drehung der gestossenen Masse um ihren Schwerpunkt, die jedoch weder auf die Richtung noch auf die Grösse der fortschreitenden Bewegung einen Einfluss hat (153).

V. Von den physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeiten, insbesondere der schweren, tropfbaren Flüssigkeiten.

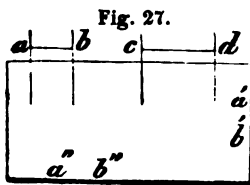
159. Die Grundeigenschaft flüssiger Körper ist ein sehr hoher Grad der Beweglichkeit ihrer Theile. Denkt man sich einen Körper, der diese Eigenschaft in vollkommenem Grade besitzt, so muss die kleinste Kraft hinreichen, um einzelne Theile im Innern desselben nach jeder Richtung zu verschieben, und zwar ohne dass durch die Gestalt des Ganzen geändert oder sein Gleichgewicht nach Aussen gestört wird.

Zu Folge ihres Gewichtes besitzen alle flüssigen Theile ein Verlangen sich zu bewegen, zu zerfliessen. In Behältern eingeschlossen, durch deren Festigkeit sie zusammengehalten werden, nehmen sie auf die Wände derselben einen Druck und nehmen deshalb immer die Gestalt der Gefässe an.

160. Der auf irgend einen Theil einer vollkommenen Masse gerichtete Druck pflanzt sich durch die ganze nach jeder Richtung mit gleicher Stärke fort. Ist z. B. ein Theil der Wand eines ringsum geschlossenen Behälters, und ist diese bewegliche Fläche einem gewissen Druck ausgesetzt, so hat jeder andere gleich grosse Theil der auch jeder gleich grosse Theil einer durch die Flüssigkeit gültig in welcher Richtung, gezogenen Ebene denselben rechtwinklig auf seine Fläche, auszuhalten.

Da ein materielles Theilchen von vollkommener Beweglichkeit je der Bewegung mit gleicher Leichtigkeit folgen kann, da ferner die bewegenden Kräfte, wenn diese in ihrer eignen Richtung durch aufgehaltene werden, sich mit unveränderter Stärke auch nach jeder Richtung fortleiten lassen (123), so ergibt sich als nothwendige jeder Theil einer Flüssigkeit, welcher der Einwirkung einer bewegenden Kraft ausgesetzt ist, sich nur dann im Gleichgewichte erhalten kann, wenn jeder Richtung hin ein der Kraft an Grösse gleicher Widerstand bewege Kraft muss sich also von dem Punkte ihrer Einwirkung jeder Richtung als ein ihr an Grösse gleicher Druck äussern und

Man denke sich zwei beliebig gewählte und beliebig grosse Stücke eines ringsum verschlossenen und mit Wasser ganz angefüllten Behälters beweglich gemacht. Die eine dieser beweglichen Flächen, $a b$, werde



Gewichte P belastet, so hat jeder gleich der Behälterwand, $a' b$ oder $a'' b''$ u. s. Druck auszuhalten. Sinkt die bewegliche Fläche $c d$ hervorgedrängt, so wird die bewegliche Fläche $a' b$ zurückgelegt, mit dem auf sie ausgeübten Drucke, gleich der Fläche $a b$, multiplicirt mit dem Inhalte der beiden beweglichen Flächen $c d$ seyen f und F , so lässt sich die Grösse des auf $c d$ wirkenden Druckes $\frac{F \cdot P}{f}$ bezeichnen. Wirkt ein eben so grosser Druck auf dieselbe Fläche aus, so hält er dem Gewichte P das Gleichgewicht.

Der in diesem Paragraphen erörterte Lehrsatz wird als das hydrostatische Grundgesetz genannt. Anwendung auf die Brahma'sche oder hydraulische Presse.

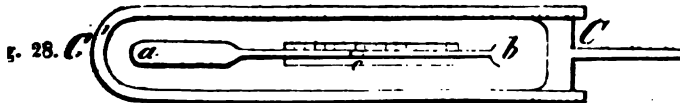
161. Die einander berührenden Theile tropfbarer Flüssigkeiten ziehen sich sehr bemerkbar an. Wenn jedoch diese sich nach jeder Richtung mit gleicher Stärke äussert, so hindert die vollkommene Beweglichkeit der Theile, wenigstens der Masse, nicht (104). Das hydrostatische Grundgesetz wird daher auf tropfbare Flüssigkeiten eine um so vollere Anwendung finden, je geringer ihre Cohäsion ist, und in je gleichförmiger sich dieselbe nach verschiedenen Richtungen äussert.

Manche Flüssigkeiten, wie Weingeist, Schwefeläther, scheinen der sichtbar vorhandenen gegenseitigen Anziehung ihrer Theile, die Masse eine fast vollkommene Beweglichkeit zu besitzen. Man nennt sie flüssig. Weniger ist dies bei dem Wasser der Fall, namentlich

temperatur; seine Flüssigkeit vermehrt sich aber durch Erwärmen. — Solche Flüssigkeiten, deren Beweglichkeit nur unvollkommen ist, wie die meisten fetten Öle, auch Quecksilber, werden dick- oder zähflüssig genannt. Sie werden durch Erhöhung der Temperatur im Allgemeinen dünnflüssiger.

162. Die tropfbaren Flüssigkeiten sind in einem sehr geringen Grade zusammendrückbar (compressibel). Messungen über ihre Zusammendrückbarkeit, welche von Canton, Oerstedt und zuletzt und in der grössten Ausdehnung von den Geneser Physikern Colladon und Sturm unternommen worden sind (Pogg. Ann. 12. S. 39), haben gezeigt: dass die Zusammendrückbarkeit für gleiche Zunahmen des Druckes zwar im Allgemeinen zunimmt, jedoch bei den meisten Flüssigkeiten in so wenig merklicher Weise, dass sie innerhalb ziemlich weiter Gränzen den rückenden Kräften proportional gesetzt werden darf. Nach Wegnahme des äussern Druckes stellt sich das anfängliche Volum stets wieder her; die tropfbaren Flüssigkeiten besitzen also eine vollkommene Compressions-Elasticität.

Um Flüssigkeiten auf ihre Compressibilität zu untersuchen, bringt man sie in ein Glasgefäss (Piézometer), das nach Art der Thermometer aus einem gemessenen Behälter und einer sehr engen, oben offenen Röhre gebildet ist. Die Röhre ist in gleiche Raumtheile getheilt, und das Verhältniss ihres Inhaltes zum des Behälters bekannt. Der auf den Inhalt der Röhre ausgeübte Druck wirkt sich gleichmässig der ganzen, im Piézometer befindlichen flüssigen Masse mit, und wenn sie wirklich compressibel ist, wird die Länge der in der Röhre enthaltenen Säule auf messbare Weise abnehmen. Weil aber der auf die Flüssigkeit wirkende Druck sich auch auf die Innenwände des Glasgefässes fortpflanzt, so müsste dieses ausgedehnt und dadurch das Resultat des Versuchs fehlerhaft werden. Um diesem Uebelstande vorzubeugen umgibt man das Pié-



ziometer *a b* mit einem Glaszylinder *CC'* von sehr dicken Wänden, der an einem Ende verschlossen, am andern offen ist, und mit Wasser gefüllt wird. Am offenen Ende ist eine passende Vorrichtung angebracht, um das Wasser z. B. durch Andrücken einer Schraube, oder mittelst einer Druckpumpe, oder auf andere Weise zusammenzupressen. Es ist einleuchtend, dass dieser Druck sich nunmehr gleichmässig auf die Innen- und Aussenwände des Piézometers fortpflanzt. Da aber die Vermischung der äusseren und inneren Flüssigkeit zu verhindern, so sind beide bei *r* in der Röhre durch eine Luftblase getrennt.

Denkt man sich die folgenden Flüssigkeiten in Glasgefässen, auf je 1 Par. Z. Fläche einem Drucke von 7573 Gramme (einem Atmosphärendrucke) ausgesetzt, so beträgt ihre Volumsverminderung, ein Milliontel des anfänglichen Volums ausgedrückt, bei

Luftfreiem Wasser von 0°	48
Lufthaltigem Wasser von 0°	47,2
Alkohol von 11,°6	92,9
Schwefeläther von 0°	130
„ von 11,°4	146
Schwefelsäure von 0°	28,6
Terpentinöl von 0°	69,7
Quecksilber von 0°	1,73.

Zu Folge der Art, wie die betreffenden Versuche angestellt sind, wird die Glasmasse des Piézometers selbst zusammengedrückt, und dadurch Volum um 1,65 Milliontel vermindert. Um dieselbe Grösse vermindert sich innere Raum des Glasgefässes. Um dieselbe Grösse vermindert sich der innere Raum des Glasgefässes. Um die wirkliche Zusammendrückbarkeit obiger Flüssigkeiten zu erhalten muss, daher zu jeder in der Tabelle enthaltenen Zahl 1,65 hinzugefügt werden.

Eine Vergleichung der Volumsverminderung flüssiger Körper durch äusseren Druck mit derjenigen durch Temperatur-Erniedrigung gibt einen Begriff von ausserordentlichen Gewalt, womit die letztere vor sich geht. Z. B. die mittlere Ausdehnung oder Zusammenziehung des Wassers für 1° Temperatur-Änderung beträgt 0,00042 des Volums bei 0°. Um dieselbe Raumverminderung durch äusseren Druck hervorzubringen, muss jeder Q. Z. der Wasserfläche mit einem Gewichte von 9,7,573 = 68 Kilogramm belastet werden.

Da die Dichtigkeits-Zunahme der Flüssigkeiten durch äusseren Druck so gering ist, so wird eine Berücksichtigung derselben in den meisten Fällen als unflüssig; d. h. man begeht keinen merklichen Fehler, indem man die tropfbar flüssigen Körper als unzusammendrückbar betrachtet.

163. Die höher liegenden Schichten flüssiger Massen drücken wegen ihres Gewichtes auf die tiefer liegenden; dieser Druck pflanzt sich in Folge der Beweglichkeit der Theile (160) in allen Richtungen bis zu den festen Wänden der Behälter fort und wird von diesen mit gleicher Stärke zurückgegeben. Irgendein Theilchen im Innern der Wassermasse, wenn es sich in Ruhe befindet, erleidet folglich von jeder Richtung her einen gleichmässigen Druck und gibt denselben nach jeder Richtung zurück. Jeder Punkt der Gefässwand empfängt und gibt wieder denselben Druck wie das Wassertheilchen, welches damit in Berührung steht. Jeder Punkt eines in die Flüssigkeit eingetauchten festen Körpers muss sich, sobald das Gleichgewicht hergestellt ist, auf dieselbe Weise verhalten, und kann daher als ein Theil der Gefässwand angesehen werden.

164. Die Oberfläche schwerer Flüssigkeiten in verschiedenen Behältern bildet für die Bedingung des Gleichgewichtes eine wagerechte Ebene, bis zu deren Höhe hin Gefässe von jeglicher Form vollständig ausgefüllt werden.

Die wagerechte Oberfläche des Wassers wird der Wasserspiegel, auch das Niveau genannt.

Der Spiegel der grossen Wasserbehälter unserer Erde, der Meere, fließt der wagerechten Erdoberfläche zusammen und besitzt also die Gestalt einer Kugeloberfläche.

165. Die Wasserspiegel in zusammenhängenden (communicirenden) Gefässen liegen nach eingetretener Ruhe stets in derselben wagerechten Ebene.

Dieser Lehrsatz ist eigentlich nur eine Erweiterung des vorhergehenden. Denkt man sich in einen offenen Wasserbehälter $a b$ an irgend einer Stelle

9. *a* feste Wand *d c* eingeschoben, so kann dadurch im früheren Gleichgewichtszustande nichts geändert werden, weil jeder Punct dieser Wand von den benachbarten flüssigen Theilen gedrückt wird und ihnen Widerstand leistet, gerade so wie es mit denjenigen Wassertheilen der Fall war, deren Stelle er eingenommen hat. Diese Behauptung bleibt wahr, welche Gestalt die Wand haben und bis zu welcher Tiefe sie eingesenkt worden seyn mag. Zwei zusammenhängende Behälter lassen sich aber immer als ein einziger betrachten, der durch Einschleiben fester Wände in zwei Abtheilungen getheilt worden ist.

Dieser Satz ist: dass, wenn mehrere Gefässe im Zusammenhange in eines derselben Wasser gegossen wird, es sich gleichwohl in Ruhe befindet, und dass Ruhe nicht eher eintreten kann, als bis es sich in allen zu gleichen Höhen über die wagerechte Bodenfläche erhoben hat, mögen sich gebildeten Wassersäulen selbst lothrecht stehen oder nicht, mag die Oberfläche regelmässig oder unregelmässig seyn, mögen sie gleiche oder verschiedene Dichten besitzen. — Leitung des Wassers durch Röhren; Quellen; artesische Springquellen; Verbreitung des Wassers durch poröses Erdreich; Auf dem Princip der communicirenden Röhren beruht auch die Einrichtung der Wasserwaage (Canalwaage, Quecksilberwaage), eines Nivellir- oder d. h. eines Werkzeuges, welches dazu dient, sich der Lage der Ebene zu versichern.

Alle Theile, die in gleicher Tiefe unter dem Wasser stehen, in demselben wagerechten Querschnitte liegen, müssen immer die Gestalt des Gefässes seyn mag, gleichen Widerstand auszuhalten. Denselben Druck erleiden die anliegenden Gefässwände.

Die Kraft, die auf ein Theilchen in dem betreffenden Querschnitte, sobald Ruhe eintreten kann, pflanzt den Druck, der darauf wirkt, nach allen Seiten, mithin in jeder wagerechten Richtung gleichförmig fort. Die Bedingung des Gleichgewichtes erfordert also, dass alle Theile in demselben Querschnitte auch denselben Druck erleiden und zurückgeben.

Der Druck auf die wagerechte Bodenfläche eines cylindrischen, mit Wasser gefüllten Gefässes hat einen Druck auszuhalten, der dem Gewichte der darin enthaltenen Flüssigkeit, nämlich dem Gewichte einer Wassersäule, deren kubischer Inhalt dem Inhalt der Bodenfläche des Wasserspiegels darüber multiplicirt ist. Der Druck auf die wagerechte Ebene, die man sich durch den Cylinderschnitt hat einen Druck auszuhalten, der gleich ist dem Gewichte der darüber stehenden Wassers. Der Druck auf verschiedene Querschnitte ist also ungleich; er nimmt zu in demselben Verhältnisse zur Tiefe derselben unter dem Spiegel.

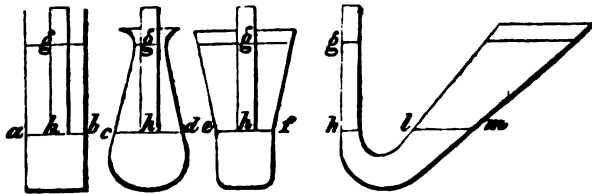
Der Druck auf die wagerechte Bodenfläche eines beliebigen Gefässes wird gefunden, indem man ihren Flächeninhalt mit der lothrechten Höhe der darüber stehenden Flüssigkeit multiplicirt. Das Gewicht der kubischen Einheit dieser Flüssigkeit ist die Dichte.

Man sucht auf eine wagerechte Ebene, welche man sich an

beliebiger Stelle durch eine flüssige Masse gelegt denkt, i oben und unten gleich, und entspricht seiner Grösse nac Gewichte einer Säule derselben Flüssigkeit, die den wagen Querschnitt zur Grundfläche und die lothrechte Höhe des S der Flüssigkeit darüber zur Höhe hat. Dieser Druck ist gt abhängig von der Form der Gefässe.

Der Druck, welchem nur eine einzige Stelle in dem wagerech Querschnitte unterworfen ist, wirkt auf alle übrigen Theile desselben jeder Richtung mit gleicher Stärke. Nun denke man sich in die beliebig teten Wasserbehälter einen oben und unten offenen Glasylinder $g h$, z

Fig. 30.



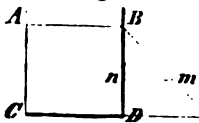
eingesenkt; das frühere Gleichgewicht kann dadurch nicht gestört werd aber einleuchtend, dass die durch den Umfang des Cylinders bei h begränz den Druck der Wassersäule $g h$ auszuhalten hat; demselben Drucke m lich jede gleich grosse Fläche bei gleicher Tiefe unter dem Spiegel un seyn. Die Querschnitte $a b, c d, e f$ und $l m$ bei gleichem Quadrat-In gleicher Tiefe unter dem Spiegel, haben demnach, was immer die l Gefässe sey, einen gleichen Druck zu erleiden, dessen Grösse zu der lo Höhe $g h$ (der Wasserhöhe) in geradem Verhältnisse steht.

Die Wassersäule $g h$ hält der übrigen Wassermasse das Gleichgew man die Oeffnung bei h vor dem Einsenken des cylindrischen Rohrs dünnen Platte bedeckt, die das Eindringen des Wassers verhindert, diese mit einer Gewalt angepresst, die dem Gewichte der Wassersäule g gleich ist. Zieht man eine feste Wand durch den übrigen Theil des l z. B. durch den Querschnitt $l m$, so muss dieselbe, um nicht gehoben zu einen Widerstand leisten können, der an Grösse gleich ist dem Gewic Wassersäule von der Höhe $g h$ und der Grundfläche $l m$. Man kann t Weise vermittelt einer Wassersäule von geringer Weite, aber betr Höhe einen sehr bedeutenden (hydrostatischen) Druck hervorbringen. dungen hiervon sind die Real'sche Kräuterpresse und der anatomisc (Gehler's Wörterb. 5. S. 137).

169. Die Seitenwände der Behälter erleiden an der \ oberfläche gar keinen Druck. Der Druck auf jede tiefer li Stelle steht in geradem Verhältnisse zur Tiefe derselbe dem Spiegel.

Beispiel. Es bezeichne $A B C D$ einen Wasserbehälter mit viereckige recht stehenden Seitenwänden, $B D$ die Höhe d serstandes. Man trage $B D = D b$ in die Verl der Bodenfläche und ziehe $B b$. Eine beliebig l Stelle n der Seitenwand hat einen Druck aus von derselben Grösse, als ob eine Wassersi der Höhe $B n = n m$ darauf ruhte. Der gesam b des Wassers auf die Seitenwand $B D$ entspic dem Gewichte eines prismatischen Wasserkörpers, welcher das recht und gleichschenklige Dreieck $B D b$ zur Basis und die Breite der W Höhe hat.

Fig. 31.



dem Gewichte eines prismatischen Wasserkörpers, welcher das recht und gleichschenklige Dreieck $B D b$ zur Basis und die Breite der W Höhe hat.

1. Es ist der Schwerpunkt oder der gemeinschaftliche Angriffspunct P auf die viereckige Seitenwand BD wirkender Pressungen zu be-
 28).

rechnung lässt sich der Beweis führen, dass ebne Gefässwände von H und Lage (mögen sie senkrecht oder schief stehen), so weit sie P berührt werden, einen Druck winkelrecht auf ihre Fläche erleiden, P dem Gewichte einer Wassersäule entspricht, welche die vom P führte Wand zur Grundfläche und den Abstand ihres Schwerpunctes P zur Höhe hat.

Den winkelrechten Druck des Wassers auf schief ste-
 fässwände kann man sich aus zwei Kräften zusammen-
 stellen, von welchen die eine in wagerechter, die an-
 senkrechter Richtung wirksam ist. Die Grösse des waga-
 ruckes zu beurtheilen, denke man sich in der Richtung

durch jeden Punct des Wassers a, n, m u. s. w. der
 2. die schiefe Wand ab berührt, eine gerade Linie
 gezogen, man denke sich ferner eine Verticalebene
 cd , welche alle diese parallelen Linien winkelrecht
 durchschneidet. Könnte der in der Richtung jeder
 dieser Wasserlinien wirkende Druck sich bis zu
 der Vertikalebene cd fortpflanzen, so würde die

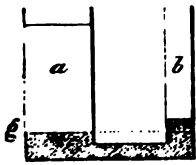
Gesamtdruckes, welchen sie auszuhalten hätte, genau
 dem wagerechten Seitendruck auf die schiefe Wand.
 Betrachtung gilt mit demselben Rechte für jeden einzel-
 nen Punct einer schiefen Wand, und lässt sich folglich auch auf
 alle Seitenwände ausdehnen. Man wird hierdurch zu dem
 geführt, den die Erfahrung bestätigt, dass der waga-
 ruck auf einen beliebigen Punct der Seitenwand eines
 Gefässes durch einen gleich grossen, aber entgegengesetzten
 Druck der gegenüberstehende Seitenwand stets aufgehoben

werden kann. Anwendung zur Bestimmung des Druckes, wodurch Röhren, die mit Wasser
 oder Flüssigkeiten gefüllt sind, zersprengt werden. Erklärung, warum
 ein Gefäss unter sonst gleichen Umständen dem Durchmesser der Röhren
 proportional ist.

Wenn sich in der Seitenwand eines Behälters unterhalb
 der Flüssigkeit eine Oeffnung befindet, durch welche
 die Flüssigkeit ausfliesst, so kann sich an dieser Stelle auf die Ge-
 samtheit der Flüssigkeit kein Druck mehr äussern. Auf die gegenüber-
 stehende Wand wirkt daher ein Uebergewicht des wagerechten
 Druckes, die sogenannte rückwirkende Kraft. Ein leicht be-
 wegliches Wasserbehälter wird durch die rückwirkende Kraft in
 Bewegung gesetzt, also in entgegengesetzter des ausfliessenden
 in Bewegung gesetzt. Segner's Wasserrad oder Kreis-
 schneidemaschinen; Raketen. Stossen der Gewehre; Zurück-
 schlag der Kanonen.

Flüssigkeiten von ungleicher Dichtigkeit in zusammen-
 gesetzten Gefässen füllen diese zu ungleicher Höhe an.

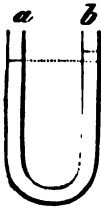
Fig. 33.



Es sey z. B. in beiden Behältern bis zu rechten Ebne $g h$ Quecksilber enthalten; stehe in a eine Wassersäule, in b eine Quecksilbersäule, so wird letzteres, dessen spezifisches Gewicht 13,6 ist, eine 13,6mal geringere Wassersäule als das Wasser einnehmen. Denn der Druck beider Flüssigkeiten auf gleich grosse Stelle $g h$ ausüben, muss gleich seyn, eine Bedingung, die erreicht wird, wenn die Höhen der über $g h$ sich erhebenden Säulen sich verhalten, umgekehrt wie die Dichtigkeiten betreffenden Flüssigkeiten.

Die Dichtigkeit der Flüssigkeiten ändert sich wie die aller Körper mit der Temperatur. Hieraus folgt, dass, wenn man in ein heberförmiges Rohr $a b$ eine Flüssigkeit bringt, und dann den einen Theil des Rohrs, z. B. b , erwärmt, den andern kalt lässt, so wird in b sich über das in a erheben muss. Diese Höhenverhältnisse beider flüssigen Säulen ist weder von der Gestalt noch von der Weite der zusammenhängenden Gefässe, und also nur von der Dichtigkeit, welche in der absoluten Dichtigkeit der Flüssigkeiten abhängig.

Fig. 34.



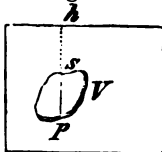
Dieses Prinzip ist von Dulong und Petit (Ann. de Ch. et Phys. 118) benutzt worden, um die Ausdehnung des Quecksilbers mit der Temperatur abhängig von der des Glases zu messen.

Verhalten der Flüssigkeiten gegen darin eingekerkerte Körper.

173. Jeder Körper, der unter die Oberfläche des Wassers ist, hat, gleichgültig in welcher Tiefe er sich befinden mag, denselben Druck im entgegengesetzten Sinne der Schwere ausüben, dessen Grösse gleich ist dem Gewichte des durch den einen Körper verdrängten Wassers, und dessen Richtung durch den Schwerpunkt des Raumes geht, woraus das Wasser verdrängt worden ist. Dieser aufwärts wirkende Druck wird *Archimedes' Druck* genannt.

Im Innern einer flüssigen Masse, die in Ruhe ist, befindet sich ein Theil V in Ruhe, den man, gleichgültig an welcher Stelle, als abgeschlossenes Ganzes betrachten mag. Der wagerechte Druck auf den Umfang nach allen Seiten ist gleich (166). Irgend eine kleine Säule $s p$, die einen Bestandtheil von V ausmacht, erleidet einen Druck, von oben proportional der Höhe $h s$, von unten proportional der Höhe $h p$. Der Unterschied beider Pressungen ist das Gewicht der Säule $s p$. Dasselbe ist mit allen andern Theilen der flüssigen Masse der Fall, aus deren Summe der Körper zusammengesetzt ist. Dieser erleidet folglich von unten einen Druck, der gleich sein eigenes Gewicht grösser ist, als der Druck von oben. Es ist aber zu bemerken, dass die Resultirende sämtlicher aufwärts gerichteten Pressungen wie die Resultirende sämtlicher schweren Theile des Wasserkörpers durch denselben Schwerpunkt gehen muss.

Fig. 35.



Ein fester Körper, den man in das Wasser einsenkt, erleidet von je

nselben Druck, wie die Flüssigkeit, welche er verdrängt hat. Die aller dieser Pressungen, der Auftrieb, ist folglich gleich dem Gewichte des verdrängten Wassers, und geht durch den Schwerpunct des Raumes, welcher ausgefüllt hatte.

Der erwähnte Lehrsatz heisst nach seinem Entdecker: das Theorem von Archimedes.

Wenn die Dichtigkeit eines untergetauchten Körpers mit der Dichtigkeit der Flüssigkeit genau übereinstimmt, so wird seinem Gewicht durch den Auftrieb das Gleichgewicht gehalten. Der Körper, insofern er aus gleichartiger Masse besteht, verhält sich gleich gut in jeder Lage unter dem Wasserspiegel. Ein Faden befestigt, der über das Niveau hervorgeht, würde ihn nicht nach unten spannen, gerade so, als hätte er sein Gewicht ganz verloren.

Körper, die schwerer sind als die Flüssigkeit, unter der sie taucht, verlieren von ihrem Gewicht nur so viel, als die verdrängte Flüssigkeit wiegt. Nur ein Theil ihres Gewichtes wird von dem Wasser getragen. Sie sinken daher unter, mit einer um das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit verminderten Schwere. Ihre Fallbeschleunigung wird um so geringer, je weniger ihr specifisches Gewicht von dem der Flüssigkeit abweicht. Fall des Bleies, des Glases, des Wachses im Wasser.

Was ist der Druck, den ein im Wasser untersinkender Körper während er auf den Boden des Gefässes ausübt?

Die Beschleunigung eines innerhalb einer flüssigen Masse fallenden Körpers

gleichförmig fortdauernde seyn (112) $c' = c \frac{p - \delta}{p}$ (wo p das Gewicht der Flüssigkeit, δ das der verdrängten Flüssigkeit bezeichnet), wenn ausser dem Auftrieb verminderten Schwere kein anderer Widerstand vor-

handelt. Allein der fallende Körper setzt nicht nur seine eigne Masse, sondern auch die ihn umgebende Flüssigkeit in Bewegung, und der hierzu nöthige Widerstand wächst mit der zunehmenden Fallgeschwindigkeit; er wächst dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional. Die Bewegung ist folglich keine gleichförmige sondern eine beschleunigte, und es muss endlich ein Zeitpunkt eintreten, wo jeder Körper an Geschwindigkeit durch die gleichzeitig eintretenden Verluste an Auftrieb eingeht. D. h. der Fall der Körper durch ein widerstandsfähiges Mittel verwandelt sich bei unbegrenzter Fortdauer in eine gleichförmige Bewegung. Dieser Uebergang von beschleunigter in gleichförmige Bewegung wird übrigens um so schneller bemerkbar, je grösser die Oberfläche eines Körpers im Verhältniss zu seiner Masse, und je geringer seine Dichtigkeit verglichen mit derjenigen der Flüssigkeit ist.

Das Absetzen im Wasser fein vertheilter Stoffe. Leichte Körper, wie Staub, Schweben des Staubes, der Wolken.

Körper, die leichter sind, als das Wasser, können, unter dem Wasserspiegel sich selbst überlassen, dem Auftriebe keinen Widerstand entgegenzusetzen und werden daher mit abnehmender Geschwindigkeit aufwärts getrieben durch eine

Kraft, die gleich ist dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeit weniger dem des untergetauchten Körpers.

Aufsteigen des Holzes im Wasser, der Luft und anderer Gase in allen baren Flüssigkeiten, des Rauches, des Luftballons in der Atmosphäre.

Erwärmtes Wasser erhebt sich in kälterem, weil es ausgedehnter und specifisch leichter ist. Hieraus erklärt sich die Schnelligkeit, womit \vee und andere Flüssigkeiten, wenn auch ihre Leitfähigkeit gering ist, sich wärmen lassen, sobald die Wärme am Boden der Gefäße eindringt.

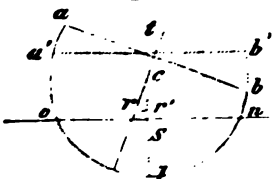
Auf der Eigenschaft leichterer Flüssigkeiten sie in schwereren so lang zu steigen, bis sie den höchstmöglichen Stand eingenommen haben, beruhet die Einrichtung einer vorzüglichen Art von Wasserwagen, der Röhren und Dosenlibelle.

177. Das Uebergewicht des Auftriebes dauert fort, so lang specifisch leichtere Körper sich ganz unter der Oberfläche der Flüssigkeit befindet. Für die Bedingung des Gleichgewichtes daher ein Theil seines körperlichen Raumes über den Spiegel vortreten, so weit, dass sein eignes Gewicht eben so viel beträgt als das des Wassers, welches er noch verdrängt. In diesem Stande befinden sich die schwimmenden Körper.

Das Gleichgewicht eines schwimmenden Körpers erstreckt sich aber noch weiter, dass seine eigne Schwerpunktslinie durch den Schwerpunct des Raumes gehe, woraus das Wasser verdrängt worden ist, oder anders ausgedrückt, dass sie mit der Wirkungslinie des Auftriebes zusammenfalle. Ist ein solches Verhältniß noch nicht vorhanden, so stellt es sich nach einer Reihe von Oscillationen immer von selbst her.

Es sey $al b$ der schwimmende Körper, r sein Schwerpunct, $o l n$ der untergetauchte Theil, s der Schwerpunct dieses Raumes.

Fig. 36.



Die Linie $s c$ bezeichnet demnach die Richtung des Auftriebes. Der schwimmende Körper würde in der Lage $a' l' b'$ im Gleichgewichte bleiben, weil in diesem Falle die Linie $c r' s$, die Wirkungslinie seiner Schwerkraft, mit der Richtung des Auftriebes zusammenfallen müsste. Er strebt diese Lage anzunehmen, indem sein Schwerpunkt r den Kreisbogen $r r'$ beschreibt, gleich als wenn er sich um den festen, durch den Auftrieb erzeugten Punct c . Dieser Punct, in welchem die Linie $s c$, die Richtung des Auftriebes, und die Linie $r c$, die Wirkungslinie der Schwerkraft, während der Gleichgewichtslage des schwimmenden Körpers einander durchschneiden, wird das Metacentrum genannt. Ein aus der Gleichgewichtslage gebrachter schwimmender Körper oscillirt um sein Metacentrum, wie ein Pendel um seinen Aufhängepunct. Die Lage dieses Punctes ist übrigens in den meisten Fällen nicht ganz unveränderlich; es wird dies nur dann der Fall seyn, wenn, wie in unserem Beispiele, der Schwerpunct des Raumes, woraus das Wasser verdrängt ist, bei jeder Lage des schwimmenden Körpers dieselbe Stelle behauptet.

Die Gleichgewichtslage eines schwimmenden Körpers ist sicher, oder ungewiss, wird er durch eine Reihe von Oscillationen in dieselbe zurückgebracht, wenn sein Schwerpunct unter dem Metacentrum liegt, um so sicherer, je größer der Abstand beider Puncte. Dagegen muss er umfallen, wenn durch eine geringe Verrückung aus der Gleichgewichtslage sein Schwerpunct über das Metacentrum, z. B. nach t , zu stehen kommt.

Bestimmung des specifischen Gewichtes fester und flüssiger Körper auf hydrostatischem Wege.

3. Man findet den kubischen Inhalt eines festen Körpers, man aus seiner Gewichtsabnahme beim Untertauchen unter Wasser, d. h. aus dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeit, den kubischen Raum der letzteren ableitet. Das absolute Gewicht des Körpers, dividirt durch seinen Gewichtsverlust im Wasser, giebt gleich sein specifisches Gewicht (30).

Dieses Princip lässt sich mittelst einer gewöhnlichen Wage von geringer Empfindlichkeit auf zweierlei Weise in Ausführung bringen:

1. Eine Wagschale ist eigens zum Zwecke dieser Art Untersuchungen (heißt ihre Name: hydrostatische Wage) etwas kürzer als die andere, dass sich bequem ein Wassergefäß untersetzen lässt. Sie ist an der einen Fläche mit einem Haken versehen, von welchem ein sehr feiner Draht herabhängt, der einen wesentlichen Theil des Apparates ausmacht und daher im Voraus ins Gleichgewicht gesetzt werden muss. An dem Drahte wird der Körper befestigt, dessen Volum bestimmt werden soll. Es sey z. B. ein Stück Eisenglanz. Zuerst in der Luft abgewogen, wiegt man 32,12 Gramme; man lässt ihn hierauf in das Wasser eintauchen, ergibt sich ein Gewichtsverlust, zu dessen Ausgleichung in die kürzere Schale 6,13 Gramme zugelegt werden müssen. 6,13 Gramme Wasser sind 3 C. C.; so viel beträgt also der räumliche Inhalt des gewählten Kör-

pers. Sein specifisches Gewicht ist $\frac{32,12}{6,13} = 5,24$.

Körper, die leichter sind als das Wasser, befestigt man in einer Zange von Platin oder Silber, die von der Schale herabhängt, im Voraus unter Wasser tarirt und schwer genug ist, den davon ergriffenen Körper ebenfalls unter Wasser zu halten. Z. B. ein Stück weißes Wachs wog 11,919 Gramme, das Gewicht des verdrängten Wassers betrug 12,3 Grm.; daher

specifisches Gewicht = $\frac{11,919}{12,3} = 0,969$.

Ein Glasgefäß mit weiter Oeffnung lässt sich mittelst eines konisch einschließenden Stöpsels dicht verschliessen. Damit letzterer, wenn das Gefäß mit Flüssigkeit ganz angefüllt ist, doch immer zu gleicher Tiefe eintauchen kann, ist es rathsam, wenn auch nicht unumgänglich nöthig, denselben auf eine Länge nach fein zu durchbohren. Dieses Gefäß mit reinem Wasser gefüllt, wiegt z. B. 120,102 Gramme.

Ein Stückchen Glas, dessen specifisches Gewicht man kennen will, zuerst in der Luft abgewogen, entspricht 16,213 „
also beides zusammen 136,315 Gramme.

Man öffnet nun das Gefäß, bringt das Glasstückchen hinein, schliesst es wieder und nimmt alles abfließende Wasser mit Löschpapier sorgfältig ab. Wieder auf die Wage gebracht zeigt, sich ein Gewichtsverlust von 16,40 Grammen. Er bezeichnet das Gewicht des verdrängten Wassers, oder Cubikcentimeter gelesen, den Rauminhalt des Glasstückes. Daher spe-

cifisches Gewicht desselben $\frac{16,213}{6,540} = 2,479$.

Das zweite Verfahren erlaubt eine grössere Genauigkeit in der Ausmessung, als das erste, und ist besonders bei der Bestimmung des specifischen Gewichtes pulverförmiger Stoffe weit vorzuziehen, weil es die fernung aller etwa dem Pulver anhängenden Luft gestattet. Zu dem Ende braucht man nur die festen Theile in dem Gefässe selbst mit reinem

Wasser zu mengen und einige Zeit der Siedhitze auszusetzen, od unter die Luftpumpe zu bringen. Bei noch feuchten Niederschläge es dieser-Vorsicht nicht (G. Rose). Es ist daher zweckmässig, cifsische Gewicht pulverförmiger Stoffe, wo es angeht, so zu be dass man zuerst den frisch erhaltenen Niederschlag mit reinem gemengt wiegt, dann abraucht, trocknet und die Wägung in der letzt vornimmt.

Wenn ein Körper im Wasser löslich ist, so wiegt man ihn in ein Flüssigkeit von bekannter Dichtigkeit, worin er sich nicht auflös Weingeist, Terpentinöl u. s. w.

Das auf die eine oder andere Art ermittelte Volumen eines Kö fordert gewöhnlich eine kleine Berichtigung wegen der mit der Te veränderlichen Dichte des Wassers. Eine Grm. Wasser entsprich nur bei 0° einem Cubikcent., bei jeder andern Temperatur nimmt andern Raum ein, z. B. bei 16° den Raum von 1,000872 C. C. (Taf. genommen, obige Dichtigkeitsbestimmung des Glases sey bei 16° worden, so würde das Volumen der 16,213 Grm. Glas nicht $6,540 \times 1,000872 = 6,546$ C. C. ausmachen. Diese Berichtigung nöthig, wenn das specifische Gewicht des Körpers auf das des Wi der Beobachtungs-Temperatur bezogen werden soll.

Eine zweite, bei specifischen Gewichtsbestimmungen vorkomm rection bezieht sich darauf, dass die Körper beim Abwägen in um ein Geringes zu leicht gefunden werden. Hiervon kann je später die Rede seyn.

179. Die specifischen Gewichte ungleich dichter Flüss verhalten sich wie die ungleichen Gewichtsabnahmen, we in diese Flüssigkeiten versenkter fester Körper erleidet. I cifsische Gewicht einer Flüssigkeit wird folglich gefunder man den Gewichtsverlust eines darin untergetauchten, gestalteten Körpers durch den Verlust, den derselbe K reinem Wasser erleidet, dividirt.

Kennt man den kubischen Inhalt des untergetauchten Körpers, so aus der Abnahme seines Gewichtes durch einfache Division das Ge kubischen Einheit der Flüssigkeit ableiten. Auf diesem Wege hat L Gineau mittelst eines sehr genau gemessenen Cylinders von Messing wicht von 1 Cubikdecimeter Wasser bei 4° bestimmt, und nannte es Kil

Mit Beibehaltung desselben Princips kann das specifische Gewicht Körper auch ohne Hülfe der hydrostatischen Wage, vermittelt ein deren Apparates bestimmt werden, welcher Senkwage oder Ge Aräometer genannt wird und von Fahrenheit erfunden worden is

Dieses Werkzeug ist wie Fig. 37 gestaltet, und am besten von t

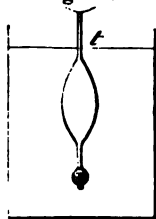


Fig. 37.

untere, kugelförmige Ende enthält Quecksilber, d Schwerpunkt möglichst herabgesenkt und dadurch d gehäuse gestattet wird, in der aufrechten Stellung zu men. Oben trägt es eine kleine Schale. Es geht in reine nicht unter, aber sein Gewicht (P) ist so regulirt, d noch eine gewisse Anzahl Gewichtstheile (p Grm.) in gelegt wird, es gerade bis zu dem Punkte t des sel cylindrischen Stieles, der Gefäß und Schale verbindet Angenommen, die unbelastete Senkwage wiege $P =$ und man habe $p = 8,85$ Grm. in die Schale geben m der Punkt t die Oberfläche des reinen Wassers berül ganzes Gewicht der verdrängten Flüssigkeit $P + p = 30,65$ Grm. in dern Flüssigkeit, z. B. in einem Gemische von Weingeist und Wasser man nur $p' = 3,5$ Grm. zuzulegen. Dasselbe Volum dieser andern F

also nur $P + p' = 27,3$ Grm. Daher das specifische Gewicht dieses weinigen Gemisches $\frac{P + p'}{P + p} = \frac{27,3}{30,65} = 0,8907$.

Das Gewichts-Aräometer kann auch als Wage benutzt werden. Man senkt es zu dem Ende in eine beliebige Flüssigkeit, und sieht zu, wie viel Gewichtstheile angelegt werden müssen, bis der Punkt t im Niveau einspielt. Man bringt sodann den abzuwiegenden Körper in die Schale, und nimmt von den Gewichtchen so viel heraus, als nöthig ist, damit der Punkt t wieder einspielt. Das gesuchte Gewicht ist hierdurch gefunden.

Wenn der untere Theil der Senkwage die Form einer Schale erhält, so lässt sich damit auch der Gewichtsverlust bestimmen, den ein darauf abgewogener Körper im Wasser erfährt. Man trägt ihn zu diesem Zwecke aus der oberen in die untere, unter Wasser befindliche Schale, und sieht, wie viele Gewichtstheile auf zugelegt werden müssen. Sie geben unmittelbar das Gewicht eines dem Körper gleichen Volums Wasser. Diese Verbesserung hat Nicholson an Instrumente angebracht.

80. Ein schwimmender Körper von unveränderlichem Gewichte t in ungleich dichten Flüssigkeiten zu ungleicher Tiefe ein; die Volumeder Flüssigkeiten, welche er in diesen verschiedenen Fällen verdrängt, besitzen sämmtlich gleiches Gewicht, nämlich das des schwimmenden Körpers. Dieser Körper sey ein hohler Cylinder von Glas (Fig. 38.), dessen unteres Ende man durch Eingiessen von Quecksilber hinreichend beschwert hat, um ihn in lothrechtler Stellung schwimmend zu erhalten. Dieses cylindrische Rohr sey von unten herauf in 200 gleiche Abtheilungen getheilt; in reinem Wasser sinke es bis zu dem Theilstriche 100 ein, in einer andern Flüssigkeit bis zu dem Theilstriche 80, in einer dritten bis zu 150, so folgt, dass 100 Volumtheile Wasser so viel wiegen wie 80 Volumtheile der zweiten, oder wie 150 Volumtheile der dritten Flüssigkeit.

Setzen wir das Gewicht von 100 Theilen der ersten Flüssigkeit = 1; 80 Theile der zweiten Flüssigkeit wiegen auch = 1;

100 Volumtheile derselben müssen $\frac{100}{80} = 1,25$ wiegen. Ebenso

wiegen 100 Volumtheile, d. h. das specifische

Gewicht der dritten Flüssigkeit = $\frac{100}{150} = 0,667$.

Mittels der beschriebenen einfachen Vorrichtung findet man durch blosses Ablesen die ungleichen Volumina verschiedener Flüssigkeiten, welche gleiches Gewicht besitzen, und durch eine Division der abgelesenen Zahlen in 100, die specifischen Gewichte derselben Flüssigkeiten. Gay-Lüssac hat diesem Instrumente, dessen Erfinder er ist, den Namen *Volumetre* gegeben. Das Volumeter bildet die einfachste und zugleich rationellste Art der praktischen Physik höchst wichtigen Instrumente, die dem Namen *Scalen-Aräometer*, oder auch schlechthin *Scalometer* bekannt sind.

Volumter in der Gestalt eines Glascyinders, wenn sie einen ziemlich gro- von Empfindlichkeit, d. h. einen nur geringen Durchmesser besitzen sollen, ist un- bequem im Gebrauche und für die Bedingung grosser Genauigkeit sogar sehr schwierig ausführbar. Man pflegt daher nur zu dem oberen Theile des Instrumentes, so weit die Scale reichen soll, ein dünnes cylindrisches Rohr zu nehmen, den unteren Theil aber weiter und kürzer zu machen, ungefähr so wie

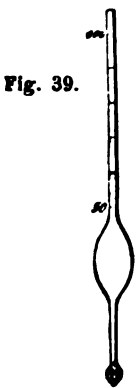


Fig. 39.

Fig. 39. es zeigt. Der weite Abstand der mit Quecksilber gefüllten Kugel vom Bauche des Glasgefässes ist nothwendig, damit selbst wenn der ganze cylindrische Theil aus der Flüssigkeit hervortreten sollte, in senkrechter Stellung schwimmen kann. Uebrigens wird die so veränderte Vorrichtung wie das cylindrische Rohr gebraucht. Man denke sich z. B. vom unteren Ende an 100 rechnet bis zum Punkte 100, bis zu welchem das Aräometer in reinem Wasser von 16° Temperatur einsinkt, den ganzen Raum 100 Abtheilungen gebracht; 50 von diesen Abtheilungen kommen auf den oberen cylindrischen Theil, die andern 50 auf den unteren nicht cylindrischen Körper. Das so eingerichtete Werkzeug wird dienen können, um Flüssigkeiten zu wiegen von der Schwere Wassers bis zur doppelten Dichtigkeit desselben. Wie verfährt man aber, um den Theilstrich 50, welcher das Instrument in gleiche Volumtheile scheidet, auffindig zu machen, oder wie er zu zeugt man sich bei einem bereits fertigen Volumeter, ob es richtig getheilt ist? — Zu dem Ende bedarf man, ausser dem reinen Wasser noch einer zweiten Flüssigkeit von genau bekannter Dichtigkeit

Concentrirte Schwefelsäure, wegen ihres grossen specifischen Gewichtes wegen der Leichtigkeit, sie immer von derselben Dichtigkeit zu erhalten, ist besonders hierzu geeignet. Das specifische Gewicht dieser Säure ist 1,85; fol-

ihr Volumetergrad $\frac{100}{1,85} = 54$. Das Volumeter muss in concentrirter Schwefelsäure bis zum Theilstrich 54 einsinken, oder zwischen diesem Punkte und

Einsenkungspuncte in reinem Wasser müssen $100 - 54 = 46$ gleiche Abtheilungen liegen. Diese Theilung kann nun nach Befinden auch über 100 oder 54 fortgesetzt werden. Gesetzt, die zweite Prüfungsflüssigkeit entspricht einem ganzen Volumetergrade. Man habe z. B. Schwefelsäure von 1,5 specifischem Gewichte angewendet. Von dieser Säure sind $\frac{110}{1,5}$ oder 66,7 Raum-

an Gewicht gleich 100 Theilen Wasser. In diesem Falle bemerke man, wie her, die beiden Einsenkungspuncte am Halse des Instrumentes, und messe den Abstand von einander mit dem Zirkel; man findet z. B. 51 Linien. Wie weit Linien der Theilstrich 50 von 100 entfernt ist, lässt sich hieraus durch eine einfache Rechnung finden, indem man die Proportion setzt:

$$(100 - 66,7) : (100 - 50) = 51 : x; \text{ es ist } x = 76,6 \text{ Linien.}$$

Es gibt noch andere Mittel, das Volumeter zu graduiren oder auf seine Richtigkeit zu prüfen; das angeführte ist das einfachste und praktisch am besten ausführbare.

Die Unterabtheilungen der Scale werden am besten auf dem Glasrohre angebracht; meistens begnügt man sich jedoch damit, dieselben auf einem Papierstreifen aufzutragen, welchen man sodann, mit der eingetheilten Seite Aussen, in das Rohr so einschiebt, dass die durch direkte Beobachtung gefundenen und auf dem Rohre bemerkten Punkte mit den entsprechenden der Papierscala zusammenfallen. Damit sich das Papier später nicht mehr verschieben kann, wird es mit etwas Siegelack an das Glasrohr befestigt und zuletzt das obere offene Ende des letzteren zugeschmolzen.

Sollen mit dem Volumeter auch solche Flüssigkeiten geprüft werden, die leichter sind als Wasser, d. h. in welchen es tiefer einsinkt, so müsste der cylindrische Stiel über den Theilstrich 100 hinaus genügend verlängert werden.

über sehr leicht der Uebelstand ein, dass der cylindrische Theil und das Werkzeug sich nicht mehr bei allen Einsenkungen lothrecht diesem Grunde ist es in der Regel zweckmässiger, für leichter ein besonderes Volumeter anzuwenden, das so eingerichtet seyn soll, dass der Theilstrich 100, der Einsenkungspunct in reinem Wasser von dem unteren Ende des Halses befindet, d. h. dass der ganze tiefer liegende Theil 100 Abtheilungen entspricht. Aufwärts wird dann fortgezählt u. s. w. Je nach dem Grade der Genauigkeit, den man zu erstreben hat, man den ganzen Umfang von den schwersten bis zu den leichtesten auch auf 3, 4 und mehr verschiedene Werkzeuge vertheilen, welche nach ganz ähnlichen Grundsätzen eingetheilt sind, und zusammen gleichsam ein sehr langes cylindrisches Rohr vorstellen. In Fällen wird man jedoch mit zweien, einem für Flüssigkeiten, die leichter sind als Wasser, ausreichen.

Man aus den Anzeigen des Volumeters durch eine sehr einfache Methode die specifischen Gewichte übergehen kann, so hat man es doch für zweckmässiger, ein Aräometer so zu graduliren, dass sich die specifischen Gewichte der zu prüfenden Flüssigkeiten unmittelbar ablesen lassen. Dergleichen werden Dichtigkeitsmesser genannt. Sie sind nie viel in Gebrauch. Ausführlicheres über diese Instrumente findet man im Buch der Chemie, Artikel Aräometer.

Das Volumeter ist in der Praxis bei weitem so verbreitet nicht, als es durch die Zweckmässigkeit seiner Einrichtung, so wie die Leichtigkeit der Führung oder zu prüfen, verdiente. Fast allgemein bedient man sich der Aräometer von Beaumé, Cartier, Beck und Anderer. Diese verschiedenen Werkzeuge unterscheiden sich in der Form nicht von dem Vorhergehenden, wie dieses, in gleiche Grade getheilt. Aber ihre Theilung beruht auf einer wissenschaftlichen Grundlage; sie ist willkürlich gewählt und schwerer zu kontrolliren.

Beim Beaumé hat man ein Aräometer für schwere und ein anderes für leichte Flüssigkeiten, welche nicht mit einander correspondiren. Bei dem ersten Einsenkungspunct in reinem Wasser von 14° R. mit 0 bezeichnet, nimmt man an, dass es in concentrirter Schwefelsäure bis zu einer bestimmten Tiefe einsinken soll. Man findet jedoch selten, dass Beaumé'sche Aräometer verschiedener Werkstätten genau übereinstimmen. Bei dem Aräometer für leichte Flüssigkeiten gilt als 0 Punct der Scala die Stelle, bis zu welcher ein Gemische von 9 Th. Wasser und 1 Th. Kochsalz einsinkt; der Grad 10 in reinem Wasser von 14° R. ist dann mit 10 bezeichnet, und in dieser Weise wird immer gleich grossen Graden fortgeführt.

Das Aräometer Cartier ist nur für leichte Flüssigkeiten bestimmt und eine kleine Scala vorübergehend. Der Grad 22 stimmt bei beiden überein, und die Scala des Beck ist nach beiden Seiten hin der Raum von je 16° B. (Beaumé) in gleiche Grade getheilt.

Das Aräometer Beck ist ebenfalls eine Nachahmung des von Beaumé, wie dieses, aus zwei Abtheilungen. Die Scala des Beck für leichte Flüssigkeiten ist die Fortsetzung, gleichsam die Verlängerung der Scala des Beaumé für schwere Flüssigkeiten, und hierin liegt der hauptsächlichste Unterschied zwischen dem Aräometer Beck und dem Aräometer Beaumé.

Die Aräometer mit willkürlicher Scala in Schriften häufig angewendet werden, so muss man sich bei ihrer Anwendung besonders aufpassen, dass sie nicht in falschen Gewerben noch immer viel angewendet werden, so muss man sich besonders aufpassen, dass sie oft nothwendig zu wissen, welchen Angaben ihre Anzeigen entsprechen. Tafel X. gibt darüber die Auskunft.

Bisher beschriebenen Aräometern gibt es noch eine andere Art von Instrumente, welche sich nur zur Prüfung einzelner Flüssigkeiten auf ihren Gehalt an irgend einem darin aufgelösten Stoffe sie z. B. auf den Procenten angeben. Daher der Name Procenten - Aräometer. Alle

unter den Namen: Alkoholometer, Branntweinwage, Wein- u. messer, Salzspindel, Säurenmesser, Laugenwagen, Milch- u. Zuckermesser u. s. w. bekannten Instrumente gehören zu dieser Klasse. Anwendung gründet sich stets auf eine vorausgegangene Vergleichung des specifischen Gewichtes einer Flüssigkeit von gewisser Temperatur u. Gehalte an Weingeist oder Salz oder Säure u. s. w. bei verschiedener Concentration. An die Stelle der durch Beobachtung ermittelten specifischen Gewichte wird dann der procentische Gehalt selbst an der Scala bemessen.

Die vergleichende Untersuchung, welche einer solchen Graduirung vorausgehen muss, ist jedoch nicht leicht auszuführen. Sie ist eine Auflösung, welche von dem aufgelösten Stoffe fremdartigen Bestand ganz frei ist, eine Temperatur, welche für alle anzustellenden Versuche selbe bleibt, und streng genommen, für jedes besondere Mischungsverhältnis das auf der Scala verzeichnet werden soll, einen besonderen Versuch. Erfahrung lehrt, dass die Dichtigkeit einer Auflösung mit ihrem procentischen Gehalte gewöhnlich in keinem regelmässigen Verhältnisse fortschreitet, weils man z. B., dass die doppelte, dreifache, vierfache Menge Weingeist der einfachen Menge Wasser beigemischt wird, nicht auch eine entsprechende Verminderung der Dichtigkeit zur Folge hat, sondern dass letztere nach einem ganz anderen und ganz unregelmässigen Gesetze vermindert wird. Man begreift hiernach, dass die Aräometergrade, welche gleiche Zunahme in der Stärke einer Auflösung angeben, nicht nach einem im Voraus bestimmten Gesetze auf einander folgen, und also nur durch eine Reihe sehr sorgfältig angestellter Versuche aufgefunden werden können. Gleiches gilt von den Versuchen, welche bis jetzt nur für Gemische von Weingeist und Wasser auf eine allen Anforderungen genügende Weise ausgeführt worden. An nur solche Procenten-Aräometer, welche zur Prüfung des Gehaltes an Weingeist und Branntweinen dienen, in der Praxis einen allgemeineren Nutzen zu bringen. Die Lehre, den Werth geistiger Flüssigkeiten mittelst eines Aräometers zu prüfen, führt den Namen Alkoholometrie.

In Deutschland gebraucht man hauptsächlich das Alkoholometer von Tralles.

Tralles hat im Jahre 1811 im Auftrage der preussischen Regierung umfangreiche alkoholometrische Arbeit ausgeführt, welcher er die im Jahre 1794 bekannt gewordenen Gilpin'schen Wägungen weingeistiger Gemische zu Grunde legte. Gilpin bestimmte das specifische Gewicht von Weingeistmischungen, die er durch Zusammenbringen von abgewogenem Wasser mit abgewogenen Mengen eines Alkohols von 0,825 specifischem Gewichte erhalten hatte, jede nach und nach bei 15 verschiedenen Temperaturen nämlich für jeden 5. Grad zwischen 30° bis 100° F., so dass also die Gesamtzahl seiner Bestimmungen 600 beträgt. Diese Daten wurden von Tralles durch das specifische Gewicht des wasserfreien Alkohols vermehrt, wie bei der Temperatur von 60° F. zu 0,7939 fand, wenn das specifische Gewicht des Wassers beim Punkte seiner grössten Dichtigkeit als Einheit angenommen wurde. Tralles zeigte zugleich, dass Gilpin's Normalalkohol, der auf Wasser von gleicher Temperatur bezogen, das specifische Gewicht 0,825 hatte, nur 89,2 Gewichtsprocente wasserfreien Alkohol enthielt.

Nach diesen Angaben hat Tralles eine Tabelle berechnet, mittelst der man aus dem bekannten specifischen Gewicht eines Weingeistes bei 60° F. (= 12°,44 R. = 15°,55 C.), den Gehalt an wasserfreiem Alkohol in Volumprocenten erfährt. (Taf. XI, 1.). Findet sich das specifische Gewicht eines Gemisches nicht unmittelbar in dieser Tafel, so lässt sich der Gehalt mit Hülfe der in der dritten Columnne gegebenen Unterschiede auf folgende Art berechnen: Es sey z. B. 9260 d.

achtete specifische Gewicht. Die nächst höhere Zahl, welche sich in der Tafel vorfindet, ist 9275 und entspricht 53 Procent; die nächst kleinere Zahl, 9254, entspricht 54 Procent. Der Unterschied 9275—9254 beträgt 21, der Unterschied 9275—9260 aber nur 15. Wenn nun eine Verminderung des specifischen Gewichtes um 21 Theile einer Erhöhung des Alkoholgehaltes von 1 Volumprocent gleichkommt, so wird eine Verminderung von nur 15 Theilen einer Vermehrung des Alkoholgehaltes von nur $\frac{15}{21} = 0.71$ Volumprocent entsprechen. Jenes Gemisch von 9260 Gewicht enthält also 53,71 Volumprocent Alkohol.

Aus dieser Tafel kann man auch, wenn das specifische Gewicht eines Weingeistes bekannt ist, den Alkoholgehalt desselben in Gewichtsprocenten finden. Z. B. die specifische Gewichtszahl 9260 sagt: dass ein Volum dieses Weingeistes 9260 wiege; 100 Volume desselben werden folglich 926000 wiegen. Ein Volum wasserfreier Alkohol wiegt 7939; 53,71 Volume wasserfreien Alkohols müssen also das Gewicht $7939 \times 53,71 = 426404$ besitzen. Es bleibt daher nur die Frage zu lösen: Wenn 926000 Gewichtstheile Weingeist 426404 Gewichtstheile reinen Alkohol enthalten, wie viel wird in 100 Pfund desselben Weingeistes enthalten seyn? Man findet 46 Pfund; der Rest von 54 Pfund ist Wasser.

Durch eine Rechnungsweise, welche die umgekehrte der hier angegebenen ist, hat Tralles aus der ursprünglich nur nach Gewichtstheilen bekannten Zusammensetzung der alkoholischen Gemische den Gehalt derselben in Volumprocenten abgeleitet und auf diesem Wege No. 1. der angehängten alkoholometrischen Tafeln entworfen.

Der Gebrauch dieser Tafel beschränkt sich jedoch auf die Temperatur von 60° F. der zu prüfenden Flüssigkeit. In Fällen, wo ein Weingeist diese Temperatur nicht besitzt, lässt sich sein Werth mittelst der zweiten oder dritten Tabelle bestimmen. In dieser Tabelle sind für jeden 5ten Grad der Fahrenheit'schen Scala die Veränderungen ausgedrückt, welche das specifische Gewicht eines Weingeistes bei diesen Temperaturen erfährt; und zwar sind diese specifischen Gewichte so angegeben, wie man sie durch Wägung der Flüssigkeiten in einem Glasgefäße, oder durch Einsenkung des Glas-Äräometers in dieselbe findet, d. h. ohne die Ausdehnung der Flüssigkeit zu beachten, welche das Glas durch die Temperaturveränderung erleidet. Der Grund dieser Vernachlässigung ist: um bei den Branntweinproben ebenso verfahren zu können, d. h. der Nothwendigkeit überhoben zu seyn, die kleinen Ausdehnungsveränderungen des Äräometers, die eine Folge des Temperaturwechsels sind, in Rechnung zu ziehen.

Die Tafeln, No. 2. und No. 3., unterscheiden sich dadurch voneinander, dass man aus No. 2. erfährt: wie viel Maas absoluten Alkohols von 60° F. ein weingeistiges Gemisch, wenn

es bis zu 60° F. oder 12°,5 R. erwärmt oder würde, auf je 100 Maas enthalten müsste; wägen No. 3. angibt: wie viel Maas absoluten All 60° F. in je 100 Maas eines Weingeistes, bei Temperatur, wobei man sein spezifisches Gewicht hat, wirklich enthalten sind. Mit Hülfe der bestimmt man das, was die Stärke einer geistiger genannt wird, mit Hülfe der anderen ihren wahren Gehalt, bezogen auf die Normaltemperatur von 60° Brauntweinfabrikant, welcher seine Waare zu irgend der Stärke liefern, oder nach seiner Stärke versteuert hierauf mittelst der zweiten Tafel. Handelt es sich von irgend einem Quantum Weingeist, dessen Temperatur von 60° abweicht, den wirklichen Werth zu erfahren Tafel 3. die verlangte Auskunft.

Der Unterschied beider Tafeln ist indessen mehr interessant, als von grosser Bedeutung für die Praxis. Vernachlässigung desselben kann nur bei concentrirten und selbst dann nur bei Abweichungen von mehr als der Normaltemperatur von 60° F. zu einem Fehler für Volumprocent übersteigt.

Der Gebrauch dieser Tafeln ist übrigens leicht und ganz ähnlich dem der ersten Tafel, nur dass die angedeuteten Zwischenrechnungen hier noch weit wichtiger kommen und auch von grösserer Wichtigkeit sind. Rechnungen, wenn auch ohne Schwierigkeit ausführbar, werden wohl, sobald sie sich häufig wiederholen, unbedeutend Grundlage der zweiten Tafel hat daher der auch als berühmtest bekannte Mechanikus Dr. Körner in Jen vierthe berechnet, welche die Stärke spirituöser Flüssigkeiten mittelbar, und zwar mit einer wenigstens für die meisten der Praxis zureichenden Genauigkeit anzeigt, und in welchem überdies die Temperaturangaben auf die in den Ge meisten verbreitete Réaumur'sche Scala beziehen.

Die mittelste, mit Normaltemperatur von 12°,5 R. bene Abtheilung der 4. Tabelle correspondirt mit Tafel 1 enthält in der ersten Spalte die spezifischen Gewichte der Flüssigkeiten von verschiedener Stärke; den entsprechenden Gehalt an absolutem Alkohol gibt die zweite Spalte procenten, die dritte in Gewichtprocenten an.

Bei jeder Temperatur über oder unter 12°,5 R. ändert sich spezifische Gewicht des Weingeistes; der dieser Dichtigkeit entsprechende, scheinbare, d. h. ohne Temperaturwechsels sich ergebende Gehalt procenten findet sich, wenn man in der wagerechten

r mit dem veränderten Temperaturgrade bezeichneten Spalte ergeht. Der Gebrauch der Tabelle ist nunmehr leicht einzusehen. Man hat z. B. bei der Temperatur von 17 ° R. das spezifische Gewicht einer spirituösen Flüssigkeit gleich 9254 gefunden; dieser Dichtigkeit entsprechen 54 Volumprocente; da dies jedoch nur scheinbarer Gehalt ist, so suche man die Zahl 54 in der mit 17 ° R. überschriebenen Spalte, und fahre von der Stelle, wo sie vorfindet, in wagerechter Richtung bis zur Spalte der wahren Volumprocente; man findet dann, dass der wirkliche Gehalt der Flüssigkeit nur 52 Procent beträgt. Wäre die Beobachtungstemperatur nicht 17 ° R., sondern 20 ° R. gewesen, so würde die Zahl 54 in der entsprechenden Spalte nicht vorfinden; die nächste Zahl 54,4, welcher der wahre procentische Gehalt von 20 ° R. angehört, ist um 0,4 zu gross; die wirkliche Stärke der gegebenen Flüssigkeit beträgt folglich 50,6 Volumprocent.

Der Zweck der dritten Spalte der mittelsten Abtheilung, welche die wahren Gewichtsprocente enthält, wird ebenfalls durch ein Beispiel am deutlichsten werden. Es sollen mit Hülfe eines 75grädigen Weingeistes durch Zusatz von Wasser 20 Maas eines Weingeistes bereitet werden, der eine Stärke von nur 45 Grad besitzt. Man ersieht man aus der Tabelle, dass 100 Grm. des 75grädigen Weingeistes 67,95 Grm. absoluten Alkohol und 32,05 Grm. Wasser, 100 Grm. des 45grädigen aber 37,89 Grm. Alkohol enthalten. 37,89 Grm. Alkohol sind mit 62,11 Wasser verbunden; auf 67,95 Grm. Alkohol, um daraus 45grädigen Weingeist zu machen, kommen folglich $\frac{62,11 \cdot 67,95}{37,89} = 111,38$ Wasser; mit diesen 67,95 Grm.

Alkohol sind aber bereits 32,05 Wasser zu 100 Theilen 75grädigem Weingeist verbunden, müssen also noch 79,33 Grm. zugesetzt werden. 79,3 Grm. Wasser sind eben so viele Cub. Cent. — 1 C. C. Spiritus von 75 ° wiegt 0,8765 Grm.; 100 Grm. desselben sind $\frac{100}{0,8765} = 114,1$ C. C., welche, mit 79,3 C. C. Wasser ver-

mischt, 193,4 C. C. Weingeist von 45° geben. Es bleibt somit nur die Frage zu lösen: Wenn 193,4 Maastheile dieser vermischten Mischung 114,1 Maastheile Spiritus von 75 ° enthalten, wieviel kommt auf 20 Maas? Man findet $\frac{114,1 \cdot 20}{193,4} = 11,8$ Maas.

Die Tabelle der Gewichtsprocente ist zu allen derartigen Berechnungen deshalb nothwendig, weil der Wassergehalt geistiger Flüssigkeiten aus dem in Volumprocenten bekannten Alkoholgehalte derselben nicht unmittelbar ersichtlich ist.

Die vier im Vorhergehenden erläuterten alkoholometrischen Methoden sind nur anwendbar, wenn das spezifische Gewicht der Flüssigkeit bereits gefunden ist; mag dies nun direkt mittelst des

Dichtigkeitsmessers, oder mittelst des Volummessers un-
leichten Division, oder endlich durch ein Aräometer mit w-
licher Scala und Benutzung der Tafel XI. geschehen seyn.

Um die Prüfung weingeistiger Flüssigkeiten noch n-
erleichtern, hat man die für die Normaltemperatur von 1
geltende Tabelle des procentischen Gehaltes an Alkohol a
Aräometer selbst aufgetragen, und zwar findet man gew-
die Tafel für die Volumprocente mit derjenigen für die Ge-
procente auf demselben Instrumente neben einander, de-
dass man die Stärke eines Weingeistes durch blosses Ein-
dieses Alkoholometers unmittelbar erfährt. Die Scala der
procente wird gewöhnlich nach Tralles, die der Gewic-
cente nach Richter genannt, weil Richter der Erste we-
cher versucht hat, die Stärke des Weingeistes durch ein Arä-
und nach Hundertheilen des Gewichtes zu bestimmen.

Die Einrichtung beider Alkoholometerscalen gründet s-
den Satz, dass die Dichtigkeiten verschiedener Flüssigkeit
verhalten umgekehrt wie die Räume, welche das eintauch-
Alkoholometer verdrängt. Nennen wir z. B. das specifische
des Wassers bei seiner grössten Dichte = 1; das Volum
Flüssigkeit, welches das eintauchende Alkoholometer ver-
= 10000. Bei 13^o,5 R. vermindert sich sein specifisch
wicht auf 0,9991, und es werden jetzt von demselben Instr-

$\frac{10000}{0,9991} = 10009$ Raumtheile verdrängt werden. In einem 6

gen Weingeiste, dessen specifisches Gewicht = 0,9126 ist,

$\frac{10000}{0,9126} = 10957$ Raumtheile, in einem 90grädigen $\frac{10000}{0,8332} =$

Raumtheile verdrängt werden u. s. w. Bezeichnet man n
Einsenkungspunct in Wasser von 12,05 R. mit 0, den Einse-
punct im 60grädigen Weingeiste mit 60, und nennt man
stand von 0 bis 60 = 948 (nämlich 957 — 9), so wird ma
Auftragung von 2002 — 9 solcher Theile vom 0 Punct aus
senkungspunct für 90grädigen Weingeist finden. Auf ähnli-
bestimmt man alle übrigen Punkte der Scala, vorausgesetzt
das Glasrohr cylindrisch ist, oder doch die etwa darauf v-
menden Unebenheiten die Gränze von $\frac{1}{20}$ des Durchmesse-
übersteigen. Es ist eben so leicht, auch nur ein Stück der S-
graduiren, wenn man z. B. Probeflüssigkeiten von 32 und
cent Alkohol hat, die Einsenkungspuncte des Instrumentes
selben bemerkt und dann nach ihrem absoluten Abstände
stände der übrigen Gradestriche berechnet und aufrägt. U-
Operation zu erleichtern, hat Tralles die relativen A-
sämmtlicher Grade im Voraus berechnet und in einer Tab-
sammengestellt (Tafel 5.), deren Gebrauch nunmehr kein

rung bedarf. Diese Tafel bietet besonders grosse Be-
 it, um ein bereits fertiges Instrument auf seine Rich-
 rufen. Zu dem Ende greife man z. B. den Abstand von
 dem Zirkel; angenommen, man findet 27 Linien; nun
 tive Abstand von 0—60, 948; der relative Abstand
 aber 1993; es ist ferner $948 : 1993 = 27$; ($x = 56,7$);
 ie Abstand von 0—90° muss folglich 56,7''' betragen.
 Ist eines mit dem Alkoholometer verbundenen Ther-
 assen sich auch die Abweichungen von der Normal-
 ohne Rechnung berichtigen. An diesem kleinen Ther-
 t die Normaltemperatur von 12°, 5 R. oder 60° F. ge-
 nit 0 bezeichnet, und je ein Theilstrich auf oder ab
 ° F. Diese Eintheilung gründet sich auf die Wahrneh-
 s eine Abweichung von 5° F. oder 2°, 22 R. von der
 eratur auf die Dichtigkeit des Weingeistes ungefähr
 Einfluss hat, wie eine Verschiedenheit von 1 Volum-
 Alkoholgehaltes. Findet man demnach, dass während
 eines Weingeistes das Quecksilber z. B. 3 Theilstriche
 t, so muss von dem beobachteten Grade 3 abgezogen
 and dagegen das Quecksilber 3 Theilstriche unter 0, so
 lbe Zahl dem beobachteten Grade zugefügt werden
 dieses Verfahren ist zwar nicht ganz genau; bei wein-
 Mischungen von mittlerer Stärke wird man jedoch durch
 g desselben keinen Irrthum von mehr als 2, höchstens
 eines Volumprocentes begehen.

üssac's hunderttheiliges Aräometer hat eine ganz äh-
 nlichkeit wie das Aräometer von Tralles. Auch dieses
 gibt den Gehalt des Weingeistes in Volumprocenten,
 ür die Normaltemperatur von 12° R.

iometer wird häufig mit Vortheil angewendet, um aus
 ischen Gewichte verdünnter Säuren und Alkalien den
 rth derselben zu bestimmen. Mehrere zu dergleichen
 gen gebräuchliche Tabellen sind unter Tafel XII. zusam-
 , und ohne weitere Erklärung verständlich. Auch diese
 ndet man zuweilen auf den Aräometern selbst aufge-

chem Zwecke ein Aräometer benutzt werden mag, so
 Gebrauche desselben einige Vorsichtsmaasregeln zu
 igen, ohne die man auf keine richtigen Resultate rech-
 Das Gefäss, in welches die zu prüfende Flüssigkeit ge-
 l, muss wo möglich von hellem Glase, hoch und ge-
 ug seyn, dass das Aräometer frei darin spielen kann.

briften zur Verfertigung sämtlicher Arten von Aräometern finden
 ung zur Bearbeitung des Glases an der Lampe von Dr. F. Körner.
 ost Schmid.

Der Hals des Instrumentes muss bis zum Einsenkungspuncte netzt seyn, oder, was dasselbe bedeutet, die Flüssigkeit, worin schwimmt, muss sich rund um den Hals, gerade so wie an den Wänden der Gefässe, hinaufziehen, weil, wenn dies nicht der Fall ist, es nicht tief genug einsinkt. Man muss daher Sorge nehmen, den Stiel immer rein zu erhalten und besonders vor dem Gebrauche ihn nicht mit fettigen Händen anfassen. Das Aërostat darf aber auch nicht über den Einsenkungspunct hinaus nass werden, wie es z. B. geschehen wird, wenn man, anstatt dasselbe vorsichtig in die Flüssigkeit zu senken, es hinein fallen lässt; denn durch das über jenem Puncte anhängende Wasser wird das Gewicht des Werkzeugs und folglich auch die Tiefe, zu welcher es einsinkt, vergrössert.

Beim Ablesen des Grades muss man das Auge zuerst tiefer halten und dann so weit erheben, dass der untere Spiegel der Flüssigkeit eben verschwindet. Es ist dies das zuverlässigste Mittel, den Einsenkungspunct richtig zu finden.

Von der Capillarität oder den Wirkungen der Harröhrchenkraft.

181. Die Theile an der Oberfläche einer flüssigen Masse besitzen nie denselben Grad der Verschiebbarkeit als die inneren Theile, weil sie nicht wie diese, nach jeder Richtung hinderlich von einer gleichartigen Kraft ausgesetzt sind. Sie folgen daher bei äusseren Eindrücken nicht ganz ohne Widerstand, zeigen vielmehr wenn auch nur bis zu einer äusserst geringen Tiefe hin, unverkennbare Spuren eines gewissen Zusammenhangs. Sie bilden gleichsam eine sehr dünne Haut, welche die innere vollkommen flüssige Masse einschliesst, und welche durchbrochen werden muss, bevor der Körper in der Flüssigkeit einsinken kann.

Irgend ein fester Körper, der vom Wasser benetzt wird und dadurch äusserlich die Beschaffenheit eines Wasserkörpers von gleichem Umfange annimmt, lässt sich unterhalb des Spiegels dieser Flüssigkeit durch die geringste Kraft in jeder Richtung hin bewegen; es ist aber eine messbare Kraft erforderlich, um ihn von der Oberfläche abzureissen. Berührt man Quecksilber oder Wasser mittelst eines Stabes, der nicht davon benetzt wird, so senkt sich die Oberfläche der Flüssigkeit nicht nur unmittelbar an der Berührungsstelle, sondern in bemerkbarer Entfernung rings um den Stab herum, ganz so wie die Oberfläche eines weichen elastischen Körpers. Nähnadeln die durch das Halteband zwischen den Fingern etwas fettig und dadurch unbenetzbar sind, schwimmen auf dem Wasser. Quecksilber fliesst nicht durch Flor.

182. Die äusseren Theile einer tropfbaren Flüssigkeit widersetzen sich nicht nur der Verschiebung, sondern sie streben auch aus der Stelle gerückt, in die frühere Lage zurückzutreten. Sie besitzen einen gewissen Grad von Elasticität.

Füllt man ein nur am Ende offenes Röhrchen von höchstens 3 Linien Durchmesser mit Wasser, und kehrt es dann um, so läuft die Flüssigkeit nicht ab, sondern bildet eine hängende Ebene, aus der man mittelst eines benetzbaren Stäbchens einen Hügel hervorziehen kann, welcher nach dem Abreissen des Stäbchens

schwere entgegen sich in die Ebene zurückzieht. Der Grund ist, weil die dünne, zusammenhängende Schicht, welche die äusserste Oberfläche bildet, ähnlich wie die Theile einer Scheibe von elastischem Gummi durch Abweichung aus der Ebene, jede Biegung oder Krümmung in ein ungleiches Krümmungsverhältniss treten müssen. Sie müssen näher zusammenrücken als die äusseren Theile, wenn durch die Krümmung eine Höhlung oder Concavität entsteht; ihre Abstände von einander vergrössern sich dagegen, wenn die Krümmung nach Aussen hin, d. h. gegen die Leere, eine Wölbung oder Convexität bildet. Daher in beiden Fällen ein Bestreben, die ebene Oberfläche zu erhalten, welches jeder anzunehmen, ähnlich wie ein elastischer Körper, den man biegt, sich zu strecken sucht.

3. Gekrümmte Oberfläche tropfbarer Flüssigkeiten, mag nun eben, hohl oder gewölbt seyn, befinden sich in einem Zustande von elastischer Spannung, und zeigen daher ein Bestreben, sich zu strecken. Dieses Bestreben bewirkt an einem jeden Punkte der Oberfläche einen Druck gegen den Mittelpunct derselben, der um so grösser ist, je grösser die elastische Spannung, wodurch er hervorgerufen wird, oder, was dasselbe sagt, je stärker die Biegung. Der Druck vermehrt sich also, wenn der Halbmesser des Krümmungsradius kleiner wird.

Ein Tropfen Flüssigkeit ist ringsum von einer dünnen, bis zu einem gewissen Grade zusammenhängenden Schicht umgeben, welche sich in einem elastisch gespannten Zustande befindet. An verschiedenen Stellen dieser gekrümmten Oberfläche entstehen nun verschiedene Stellen dieser gekrümmten Oberfläche von ungleich grossen Krümmungshalbmessern. An diesen verschiedenen Stellen ein ungleicher Druck nach Innen entstehen; der am stärksten gespannte Theil des Tropfens muss sich aufbiegen, so lange bis überall einerlei Krümmung und ein gleicher Spannungszustand eingetreten ist, d. h. bis der Tropfen die Gestalt einer Kugel angenommen hat.

Die Bildung kugelförmiger Tropfen vermöge eines gespannten Zustandes der Oberfläche lässt sich einsehen, ohne dass man nöthig hat, irgend eine von der Flüssigkeit ausgehende Anziehung zu Hülfe zu nehmen; eine Mitwirkung, welche mannahme überdiess durch die Erfahrung auf keine Weise gerechtfertigt werden kann, wie man weiss, die gegenseitige Anziehung flüssiger Theile nur bei sehr geringer Entfernung, d. h. auf unmessbar geringe Entfernung hin, wirksam ist. Auch innerhalb einer flüssigen Masse nehmen die Kugelform an, ungeachtet einer Anziehung, die vom Mittelpuncte der Kugel ausgeht, gar nicht ist. Sehr häufig erheben sich Luftblasen theilweise oder ganz über die Oberfläche einer Flüssigkeit, noch umgeben von der consistenteren, elastischen Schicht, deren eigenthümliche Beschaffenheit sich übrigens am deutlichsten in der Mitte ausprägt.

Die Kraft, womit die Tropfen die kugelförmige Gestalt zu suchen, ist so gross, dass kleine Tropfen auf Flächen, die sie nicht benetzen, z. B. Quecksilbertropfen auf Glasplatten, Wassertröpfchen auf fettigen und mit Hexenmehl bestreuten, oder auch auf glühenden Metallflächen, sich ungeachtet des Widerstandes ihres Gewichtes nicht merklich abplatteten. Grössere Tropfen zeigen sich zwar, und bei einem Durchmesser von 12—14 Par. Linien, flacht sich die Krümmung in der Mitte ganz. Die Masse wird

aber gleichwohl durch die Wirksamkeit des stark gebogenen des in kreisrunder Gestalt zusammengehalten. Versucht man, solchen abgeplatteten grossen Quecksilbertropfen zwischen ebenen Glascheiben durch aufgelegte Gewichte noch weiter breiten, so bemerkt man, dass derselbe einen bedeutenden Widerstand leistet; nach Weg der Gewichte stellt sich sogleich die frühere Gestalt wieder.

Der Uebergang kleinerer Tropfen und Blasen in die grösseren, und das Zusammenfliessen mehrerer Tropfen zu einem einzigen, beruht auf derselben Ursache.

186. Wenn die gegenseitige Anziehung der Theile einer Flüssigkeit beträchtlich grösser ist als ihre Adhäsion an den Seitenwänden der Gefässe, dergestalt dass letztere unbenetzt bleiben, so verhält sich das Streben zur Tropfenbildung selbst bei den in Gefässen enthaltenen flüssigen Massen. Aus diesem Grunde steht z. B. das Quecksilber gewöhnlich von den Wänden der Glasgefässe ab, und die Oberfläche verhält sich ähnlich wie ein auf einer ebenen Glasplatte ruhender grosser Quecksilbertropfen. In Gefässen von weniger als 1/2 Zoll Durchmesser verbreitet sich diese vom Rande ausgehende Erhebung bis in die Mitte der Oberfläche, und es zeigt sich eine kleine Erhebung des mittleren Theils über den Rand, der sogenannte *convexe Meniskus*. In engeren Gefässen und insbesondere in engen Röhren erhält diese Erhebung mehr und mehr die Gestalt eines vollkommenen Kugelabschnittes, oder selbst, insofern die Adhäsion des Glases es nicht hindert, die einer Halbkugel. Der *convexe Meniskus* bewirkt einen Druck gegen die flüssige Masse, dieselbe nach jeder Richtung hin zu bewegen, vorher ein gleicher Druck, z. B. durch eine gleich starke Krümmung hervorgebracht, nicht entgegensteht.

Lässt man einen Quecksilbertropfen in ein enges cylindrisches Rohr eintreten, so nimmt er die Gestalt eines an beiden Enden stark abgerundeten Cylinders an, der bei wagerechter Stellung im Rohre unbeweglich bleibt, dessen Seiten jedoch durch den von den gekrümmten Enden ausgehenden Druck wider die Wände des Rohres gepresst werden.

Fig. 40.



Ist das wagerecht liegende Rohr, in welchem das Quecksilber gebracht wurde, konisch, d. h. doch an einer Seite enger als an der andern, dergestalt dass die beiden Enden der Quecksilbersäule eine ungleiche Krümmung annehmen müssen (Fig. 40), so beginnt eine Bewegung der Flüssigkeit von dem engeren Ende des Rohrs nach dem weiteren hin. Diese Bewegung dauert lange fort, bis die flüssige Säule eine Stellung eingenommen hat, bei welcher ihre beiden Endflächen eine gleich starke Krümmung annehmen können.

ird das aus zwei Theilen von ungleicher Weite zusammengesetzte Rohr heberförmig umgebogen, wie Fig. 41., und werden dann beide Schenkel mit dem flüssigen Melle angefüllt, so muss dieses nach eingetretenem Gleichgewichtszustande in dem engeren Rohre niedriger stehen; aber ganz heraustreten, wie in dem wagrecht liegenden, kann es jetzt nicht, sondern es wird nur solange sinken, bis das Uebergewicht der niederdrückenden oder der Unterschied der Wirksamkeit beider Condensationen im weiteren Rohre sich bildenden grösseren hydrostatische Drucke im Gleichgewichte steht.

Wenn ein Schenkel so weit ist, dass der mittlere Theil der enthaltenen Quecksilbers eine Ebne bildet, so kann in dem andern gar kein Niederdruck entstehen; der Höhenunterschied in Röhren ist daher jetzt nur von der Stärke der Krümmungen der engeren Rohre abhängig, und muss unter sonst gleichen Umständen so beträchtlicher seyn, je geringer die Weite des Rohres ist.

Das eigenthümliche Verhalten in den engsten Röhren, den sogenannten Haarröhrchen (Capillarröhrchen) am deutlichsten hervortritt, so hat man ihm den Namen Capillarität beigelegt, und umfasst die verschiedenen Ausserungen dieser Kräfte, worauf dieses Phaenomen beruht, unter dem Namen Röhrenkraft oder Capillarität.

Die niederdrückende Kraft verhält sich wie die Stärke der elastischen an der Oberfläche, oder auch wie die Stärke der Krümmung. In ebenen, ungleich weiten Röhren, welche aber sämmtlich so eng sind, dass die Gestalt der gekrümmten Oberfläche von der Kugelform nicht abweicht, die Halbmesser der Krümmungen sich verhalten müssen wie die Röhrenhöhen, so lässt sich voraussehen, dass in solchen engen Canälen die Senkungen, den Durchmessern im Innern nahezu, umgekehrt proportional sind. So hat man z. B. gefunden, dass in einem Glasrohre von 1,5 Millim. Weite das Quecksilber um 4,9 Millim. niedergedrückt wird. Dagegen in einem Rohre von 0,5 Millim. Weite betrug die Senkung nur 0,84 Millim., während dieselbe nach der Regel $\frac{4,9}{1,5} = 3,26$ Millim. hätte seyn müssen.

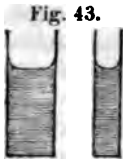
Die Senkung des Quecksilbers in Glasröhren von gleichem Durchmesser immer gleich gross, weil die Adhäsion zwischen beiden Körpern von der Gestalt der Quecksilberkuppe, je nach der Glätte des Glases, der flüssigen Metalle und der Trockenheit der Luft, eine verschiedene zeigt. Wenn das Quecksilber durch aufgelöstes Quecksilber getrocknet ist, z. B. durch längeres Schütteln oder Erhitzen beim Zutritte der Luft, so wird es zäher flüssig, und dabei nimmt seine Anziehung zum Glase ab, dass sie dem Streben zur Kugelbildung zuweilen das Gleichgewicht verleiht. Das Quecksilber erhält dann bis an die Röhrenwand hin eine ebne Oberfläche, es findet gar keine Depression mehr statt.

Die meisten Gefässwände verhalten sich hinsichtlich ihrer Anziehung gleichsam wie eine Fortsetzung der Flüssigkeit, und daher wird Wasser oder Weingeist von den Wänden eines

davon benetzten Glases mit einer der Cohäsion der
 Fig. 42. Theile unter einander ganz gleichen
 gehalten, und wenn das Gefäß nicht g
 an der Wand heraufgezogen (Fig. 4
 über den Spiegel in der Mitte des Gef
 bene Wasserrand $r s t$ wird nur durch
 seiner obersten Theile r getragen, welche ihrerseits du
 häsion der Wand festgehalten werden. Eine und dieselbe
 hebt sich daher auf ganz gleiche Weise an den Oberfl
 festen Körper, welche sie vollständig benetzt, d. h. zu
 eine Anziehung besitzt, die wenigstens eben so gross
 jene ihrer Theile unter einander.



188. Bei geringer Weite der Gefässe verbreiten sich
 von den Wänden bewirkten Erhebungen bis über die M
 Fig. 43. wodurch die ganze flüssige Oberfläche ein
 gebogene (concave) Gestalt annehmen mi
 steht der sogenannte concave Meniskus
 gleichsam ein Abschnitt von einer Blase. S
 mung ist um so stärker, je enger das Gefä
 cylindrischen Röhren von 1 Linie Durch
 darunter erhält er die Gestalt einer hohlen Halbkugel.



Die flüssigen Theile, welche in der gekrümmten Ob
 gen, befinden sich in einem Zustande elastischer Spann
 und äussern daher einen mit der Stärke der Biegung zu
 Druck gegen die Leere hin, ein Bestreben, sich aufzu
 die Leere auszufüllen. Allein an den benetzten Wänden
 der concave Meniskus stets von Neuem. Die Folge
 wärtsschreiten der Flüssigkeit. Wird z. B. ein wagr

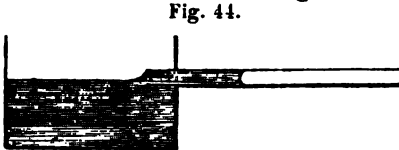
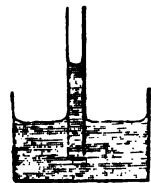


Fig. 44. des, enges und inwe
 tes Glasrohr (Fig. 44
 tenwand eines Gefä
 gesetzt, dass es mit
 spiegel in gleiche H
 so wird die Flüssigk
 eingesogen, und bewegt sich dem Canale entlang bis
 desselben, ohne jedoch auszulaufen, denn am Ende
 ebnet sich der Meniskus, und die Bewegung hört auf.

Fig. 45. Taucht man das ganze Rohr senkrecht
 sigkeit (Fig. 45.), so wird dieselbe auch
 sogen, bewegt sich aber bei genügende
 Rohrs nicht bis an das Ende desselben f
 steigt nur so hoch, bis das Gewicht der
 Säule mit der Cohäsionskraft, womit
 Rand des Meniskus von der benetzten
 zogen und festgehalten wird, im Gle
 steht. Wenn das Rohr nicht so weit, als hierzuerforder



sserspiegel hervorrägt, so erhebt sich die Flüssigkeit im In- bis zu seinem Rande empor, und der Meniskus verflächt sich, doch niemals ganz eben werden zu können. Entfernt man das Rohr aus dem Wasser, so fließt die enthaltene flüssige Säule nicht aus, sondern kann sich sogar erhöhen, weil die Aktion der anhängenden Tropfen sich zu derjenigen des concaven Meniskus addirt.

Umkreis eines cylindrischen Rohrs und mit ihm die Anzahl der Röhren, durch deren Anziehungskraft die gehobene Flüssigkeit hervorgerufen wird, vermindert sich wie der Durchmesser, das Gewicht der gehobenen flüssigen Säule aber vermindert sich wie das Quadrat des Durchmessers; in sehr engen Röhren, in welchen das Gewicht der flüssigen Säule selbst unbeachtet bleiben kann, steht daher die Erhebung der flüssigen Säule in den Röhren Wände benetzenden Flüssigkeit im verkehrten Verhältnisse der Röhrenweite. Da also auch diese Erscheinung in den Röhren besonders auffallend wird, so hat man ihr den Namen Capillar-Erhebung gegeben. Ueberhaupt ist es üblich geworden, die ganze Klasse von Phänomenen, welche auf der Adhäsion der flüssigen Körpern und auf der zwischen den Theilchen derselben stattfindenden gegenseitigen Anziehung beruhen, unter dem gemeinschaftlichen Ausdrucke Capillarität oder Capillari- phänomene zu umfassen.

Gay-Lüssac's Versuchen steigt reines Wasser von 10° Temperatur in einem Rohre von 1 Millimetr. Durchmesser bis zur Höhe von 30 Millimetr. In Röhren von $\frac{1}{10}$ und $\frac{1}{100}$ Mill. wird es folglich auf 60, auf 300 und auf 3000 Millim. Die Capillar-Erhebung vermindert sich bei erhöhter Temperatur, und ist bei verschiedenen Flüssigkeiten ungleich. Z. B. Weingeist von 0,8196 Dichte und 8°,5 Temp. stieg nach Gay-Lüssac in einem Rohre von 1 Millim. Durchmesser 9,18 Mill.; reines Wasser von derselben Temperatur in demselben Rohre 23,16 Millimetr. Die Weite der Capillarröhren bestimmte Gay-Lüssac aus dem Gewichte des Quecksilbers, welches eine gemessene Röhre ausfüllte. (Biot traité de physique, I. 440. Auch Gehl. Wört. II. 47.) Zwischen zwei ebenen Flächen, getrennt durch Metalldrähte von bekannter Weite, steigt eine Flüssigkeit nur zur Hälfte der Höhe, welche sie in einem Rohre von derselben Weite, dessen Durchmesser dem Abstände beider Ebenen von einander gleich ist, erreicht. Im Zwischenraume zweier concentrischen Röhren hebt sich die Flüssigkeit bis zur selben Höhe, wie zwischen zwei Ebenen von demselben winkelförmigen Abstände.

46.



Zwischen zwei lothrecht eingetauchten Ebenen, die einen Winkel bilden (Fig. 46.), steigt die Flüssigkeit nicht allenthalben zu gleicher Höhe. Beide Ebenen bilden gleichsam eine Reihe neben einander stehender Röhren, deren Weiten in geometrischem Verhältnisse zunehmen; die Höhe des Standes der Flüssigkeit vermindert sich aber im umgekehrten Verhältnisse des zunehmenden Abstandes. Die Oberfläche der gehobenen Flüssigkeit bildet daher eine Kurve, die mit dem einen Aste einer Hyperbel übereinstimmt, deren Scheitel in o liegt und von welcher die Linien oa und ob die Asymptoten sind. Diese Platten, die man einander parallel gegenüber und an Fäden schwimmend taucht, so dass zwischen beiden eine Capillar-Erhebung eintritt,

bewegen sich mit zunehmender Beschleunigung gegen einander, und lichen zusammen, weil die capillare Aufsaugung dem Gewichte des schen beiden Platten entgegenwirkt und folglich ein Uebergewicht auf die Aussenseite erzeugt. Aus diesem Grunde bewegen sich kende und von der Flüssigkeit benetzte Körper, wie Glaskuge Kork, Luftblasen u. s. w., gegen einander und werden zuletzt in gleichbeschaffenen Gefässwand angezogen. Dasselbe geschieht schwimmende Körper unbenetzt bleiben. Dagegen zwei schwimm von denen der eine benetzt und der andere nicht benetzt ist, stoss-

Ueber Capillarität ist nachzulesen: Die physikalische Theorie Mile, Pogg. Ann. B. 45. S. 287. Eine Uebersicht von La Place m Theorie findet man in Biot traité de phy. I. 455. Prisson's Einwi Theorie von La Place. Pogg. Ann. B. 25. S. 270. B. 27. S. 193.

Zuden Capillar-Phänomenen gehört das Abtrocknen mittelst Tu papier; das Feuchtwerden poröser Körper, Holz, Tuch, Löschpapier Thon, trockne Erde, bei der Berührung mit Wasser und die Verb Feuchtigkeit auf beträchtliche Entfernungen von der Berührungsst steigen des flüssigen Fettes in den Dochten. Die Kraft, womit viele organische Stoffe, das Wasser in ihre Poren aufnehmen, und di dasselbe festhalten, ist ausserordentlich gross; Verkürzen gespann Benetzen derselben; das Aufquellen z. B. des Holzes, der Hülsenfr Zersprengen von Felsen durch Einkeilen von trockenem Holze in brachte Einschnitte und durch Benetzen desselben. Viele Früchte, v Aepfel u. s. w. sind dem grösseren Theile ihrer Masse nach Wasser, einem Zellengewebe von äusserster Feinheit durch die Capillar gehalten wird. Auch das Schweben fein vertheilter fester Stoffe in (die Suspension), so wie das Aufsteigen mancher Salzlös Wänden der Gefässe, das sogenannte Effloresciren oder Auf begleitete zu seyn, doch als letzte Aeusserungen der chemischen trachtet werden müssen, gehören hierher.

Das Aufsteigen und der Niedergang der Säfte in den Pflanzen Capillarität allein nicht zurückführen, weil die Capillarkraft all wegung, aber keinen dauernden Bewegungszustand und keine Cirku ken kann. (Gehl. Wört. II. S. 53.)

189. Wenn tropfbare Flüssigkeiten, die durch Capill wegung gesetzt sind, ausfliessen oder überströmen, so is ein Beweis des Hinzutritts von noch andern Kräften, w Haarröhrchenkraft allein eine Bewegung über die Grän capillare Thätigkeit bedingenden festen Körpers hinau wirkt werden kann.

Die bekannteste derartige Erscheinung ist das Du oder Filtriren. Das Eindringen der Flüssigkeit in die Filters geschieht hier durch Capillarität; das Ausfliessen eine Folge der Fortpflanzung des hydrostatischen Druck Poren des Filters. Es wird hierdurch begreiflich, warum des Filtrirens durch Vergrösserung des Drucks, z. B. Ein über dem Filter stehenden flüssigen Säule, beschleunigt w Auch Erhöhung der Temperatur befördert gewöhnlich gang durch das Filter, weil Erwärmen die tropfbaren Fl in der Regel dünnerflüssiger macht. Aus einem ungleiche Flüssigkeit oder der Beweglichkeit der Theile erklärt e um verschiedenartige flüssige Körper, unter sonst ga

ht immer gleich schnell durch das Filter laufen. Das Flüssigkeit kann aber auch, je nach ihrer Fähigkeit, den Filters zu benetzen, beschleunigt oder aufgehalten das Quecksilber lässt sich nur mittelst eines starken die Poren von Wildleder treiben. Wasser, Weinöl, welche dieses Leder benetzen, dringen leicht Adhäsion des Wassers zur Materie dieses Filters ist geringer als die des Terpenthinöls; auf dem mit Wasser befeuchtet wird daher das Terpenthinöl zurückgehalten, während die letztere Flüssigkeit durch die erstere aus den Poren vertrieben werden kann.

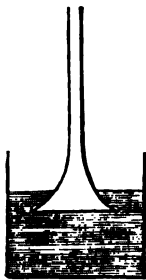
offe, ungeachtet sie gewisse Flüssigkeiten mit Benetzung, besitzen doch so enge Poren, dass sich ein hydrostatischer Druck nicht mehr durch dieselben fortpflanzen lässt. B. Wasser in ein Gefäß von unglasirtem Thon eingetaucht wird in der Regel nichts durchsickern, ungeachtet sich die Thonwand mit der Flüssigkeit vollsaugen. Aehnlich verhält sich die menschliche Haut. Wenn daher zwei Flüssigkeiten durch eine Thonwand oder eine andere ähnlich wirkende Scheidewand getrennt sind, so ist ein hydrostatischer Druck, der auf die eine Flüssigkeit wirkt, für die andere so gut wie nicht

effektiv. Die Flüssigkeiten einander chemisch anziehen und zu beiden Seiten die Scheidewand benetzen, so mischen sie sich in den Poren, und diese chemische Thätigkeit, indem sie sich durch die Poren der Scheidewand aus gleichmässig nach beiden Seiten hin ausbreitet, ähnlich wie in dem Filter der hydrostatische Druck, überwindet die Widerstände, welche beide Flüssigkeiten, zu einander überzuströmen. In der Regel sind verschiedene flüssige Körper in der Regel weder durch die Poren der Scheidewand beweglich, noch gleichmäßig durch dieselbe benetzbar. B. Wasser und eine Materie der Scheidewand zu benetzen und in die Poren einzudringen, so können beide nicht mit gleicher Leichtigkeit einander überströmen, obschon die Kraft der chemischen Anziehung, welche die Ursache dieser Bewegung ist, von beiden Seiten mit gleicher Stärke wirkt. So kommt es, dass, wenn man z. B. eine wässrige Lösung, Säuren, Alkohole, flüchtige Oele, flüssige Fette und überhaupt je nach der Natur der Materie, chemisch mischbare Flüssigkeiten durch eine Scheidewand, durch deren Poren der hydrostatische Druck sich ausbreitet, zusammenzutreten können, in den meisten Fällen mehr von der einen Seite überströmt, als von der andern.

Manchmal z. B. innerhalb eines Gefäßes von porösem Thon eingetaucht, ausserhalb Wasser, so steigt das innere und sinkt das äussere Niveau, so lange bis beide Flüssigkeiten ganz gleiches Niveau sind. Von diesem Zeitpunkte an tritt keine weitere Bewegung ein, so sehr auch das innere von dem äusseren Niveau verschieden ist. (Endosmosephysik.)

veau verschieden seyn mag. — Man beobachtet ein Verhalten, wenn man einen offenen, mit Blase überbundenen Cylinder mit einer Auflösung von Kupfervitriol oder Ko irgend einer andern wässrigen Lösung theilweise an reines Wasser stellt; stets wird sich das Volum der vermehren, wenn schon ein Theil davon zum Wasser Befindet sich die Salzlösung ausserhalb, das Wasser in überbundenen Cylinders, so senkt sich die innere Flüssigkeit die äussere steigt. Erwärmen befördert dieses Ueberbindet man ein mit Weingeist ganz angefülltes Glas und umgibt es mit Wasser, so schwillt die Blase an, Wasser eintritt, als Weingeist herausgeht; denn der wenn auch flüssiger als das Wasser, benetzt doch die unvollkommen.

Das Ueberströmen, chemisch mischbarer durch poröse Wände getrennter Flüssigkeiten zu einander, über dessen Ursache man längere Zeit in Ungewissheit war, ist, um es von den Capillar-Phänomenen zu unterscheiden,



Endosmose genannt. Eigentlich ist es die Dütrochet, sondern Fischer in Breslau diese Erscheinung zuerst beobachtet und untersucht (Pogg. Ann. B. XI. S. 126.).

Um die Endosmose zweier verschiedener Flüssigkeiten zu studiren, ist es zweckmässiger derselben in ein trichterförmiges Gefäss dessen untere weite Oeffnung mit Blase überbunden wird, und dessen oberer Theil aus einem cylindrischen Rohr besteht.

V. Von den physikalischen Eigenschaften und der gasförmigen Körper überhaupt

190. Die Gase besitzen im vollkommensten Grade die Eigenschaft, welche das eigentliche Wesen der Flüssigkeiten macht, nämlich: Beweglichkeit der Theile. Sie unterscheiden sich gleich den tropfbar flüssigen Körpern, jeden gegen ihren Theil ihrer Masse gerichteten Druck nach allen Richtungen veränderter Stärke fortzupflanzen (160.).

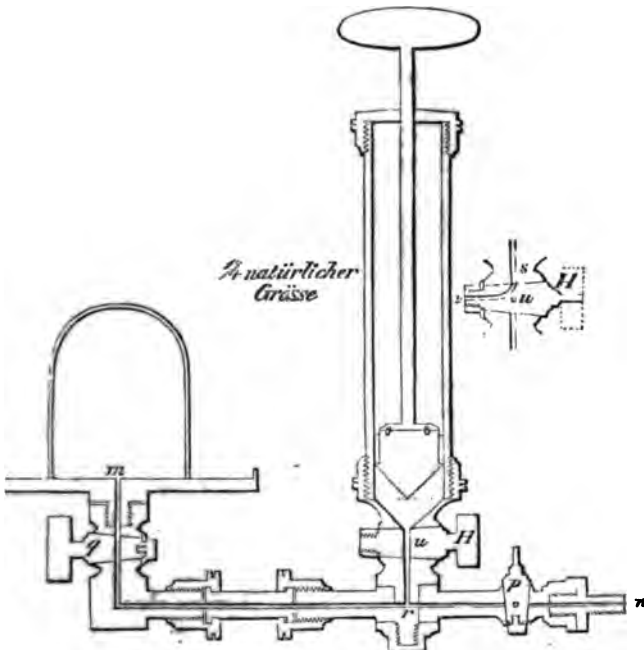
Das hydrostatische Grundgesetz mit allen seinen Folgerungen hat diese auf keine andere Eigenschaft als die Beweglichkeit der Theile, hat also für die Luft dieselbe Geltung wie für das Wasser.

191. Die Gase unterscheiden sich von den tropfbar flüssigen Körpern durch ihre grosse Zusammendrückbarkeit durch ihre Ausdehnbarkeit oder das Bestreben, freiwillig zu vergrössern (40.). Vermöge der letzteren Eigenschaft verbreitet sich die Luft in jedem ihr dargebotenen Raume

n vollständig aus. Ist Ruhe eingetreten, so äussert sich die Dehnbarkeit als ein Druck, welchen ein Gasteilchen gegen andere ausübt, womit eins das andere abstösst; derselbe Druck wirkt sich auf die Wände des Gefässes fort, worin der gasförmige Körper eingeschlossen ist. Dieser Druck wird Spannkraft (Expansivkraft) genannt.

92. Auf der Ausdehnbarkeit beruht eine für das Stadium der Eigenschaften der Luft unentbehrliche Gerätschaft, die Luftpumpe.

Die Luftpumpe ist ein hohler, inwendig sehr glatter Cylinder, ein dicht anschliessender Kolben auf- und nieder bewegt werden. Das eine (gewöhnlich obere) Ende des Cylinders (des sogenannten Stiefels) kann ganz offen seyn, das andere (untere) steht nur durch eine sehr enge, mittelst eines Hahns veränderbare Oeffnung in Verbindung mit Aussen. (Fig. 48.).



Die Luftpumpe kann gebraucht werden, um Luft in einem gegebenen Behälter zu verdünnen, oder auch um sie darin zu verdichten. In *H* ist, um zu beiden Zwecken dienen zu können, gewöhnlich durchbohrt. Die eine Durchbohrung *u* (siehe die Fig.) leitet zu dem Kanale *nm*. Durch eine Vierteldrehung des Hahns wird die andere Durchbohrung *sv* vor die enge Oeffnung am Ende des Stiefels gebracht und dadurch eine Verbindung

des innern Raums mit der äussern Luft bewerkstelligt. Der Y nm ist durch zwei Hahnen, p und q , mit einfacher Durchbohrung verschliessbar. Der Arm rn desselben dient, um nach Bedürfniss einen Behälter luftdicht anschrauben zu können; der Arm rm des Halses öffnet sich in die Mitte einer ebengeschliffenen Platte (des Stiefels), worauf Behälter mit abgeschliffenem und fettig gemachtem Rande, sogenannte Recipienten, z. B. Glasglocken, luftdicht aufgesetzt werden können.

Hebt man den Kolben, während der Hahn die in der Zeichnung angegebene Stellung hat, so verbreitet sich ein Theil der im Stiefel und in der Glocke enthaltenen Luft in dem Stiefel unter dem Kolben. Gibt man hierauf dem Hahn die andere Stellung, wird die auf diese Weise aus der Glocke entfernte und davon getrennte Luft durch Niederdrücken des Kolbens in die Atmosphäre getrieben. Eine Wiederholung dieses Spiels bedingt eine allmähliche Verdünnung der Luft in der Glocke u. s. f., so lange sie vermöge ihrer Ausdehnbarkeit jeden ihr dargebotenen Raum ausfüllen vermag.

Um mittelst der Luftpumpe Luft zu verdichten, verfährt man umgekehrt, d. h. man hebt den Kolben, während die Durchbohrung sv des Hahns nach oben gekehrt ist. Dadurch füllt sich der Stiefel mit atmosphärischer Luft, die dann durch eine Viertelsumdrehung des Hahns in Verbindung mit dem Kanale nm gesetzt, und durch den Niedergang des Kolbens in ein bei n oder m befestigtes Gefäss gepresst werden kann.

Der Verschluss des Stiefels der Luftpumpe geschieht nicht mehr durch einen Hahn. Eben so häufig gebraucht man statt dessen zwei Klappen (Ventile), von denen die eine am Boden des Cylinders, die andere im Kolben angebracht ist und welche beide in gleichem Sinne, z. B. beide von unten nach oben, öffnen. Hebt man den Kolben, so entsteht unter demselben ein leerer Raum; das Bodenventil (Saugventil) wird daher durch die Spannung der Luft in der Glocke aufgestossen, das Kolbenventil dagegen durch die Spannkraft der äusseren Luft fester angedrückt. Beim Niedergang des Kolbens geschieht gerade das Umgekehrte. Wenn Luft verdichtet werden soll, müssen sich, wie leicht einzusehen, beide Klappen im entgegengesetzten Sinne, nämlich von oben nach unten öffnen. Eine Ventil-Luftpumpe kann daher zugleich zum Verdünnen und zum Verdichten der Luft gebraucht werden.

Die Luftpumpe ist im Jahre 1650 von Otto von Guericke in Magdeburg erfunden, und 1654 von ihm auf dem Reichstage zu Regensburg vorgezeigt worden. Seine erste Luftpumpe hatte Ventile. Guericke hat auch die Eigenschaft der Luft, sich freiwillig auszudehnen, zuerst beobachtet.

Mittelst der Luftpumpe lässt sich die Zusammendrückbarkeit und Ausdehnbarkeit der Luft sehr leicht anschaulich machen.

eine Schweinsblase, fest zugebunden unter die Glasglocke gestellt, schwillt während des Auspumpens an, indem das darin eingeschlossene Gas gleich der übrigen Luft in der Glocke sich ausdehnt oder verdünnt. Mit der zunehmenden Verdünnung der Luft vermindert sich aber die Gewalt ihres Bestrebens, sich noch weiter auszudehnen zu können, daher bei Eröffnung des Hahns *p*, die äussere Luft, durch die ihrer überwiegenden Spannkraft sogleich eingepresst wird, die Blase wieder zusammenfällt. Aus demselben Grunde lässt sich die aufgetriebene Blase zusammen, wenn man ihren Gas-Inhalt durch die Luftpumpe auszieht. Durch Eintreiben eines Gases lässt sich sie dagegen an, weil nunmehr die innere Spannkraft das Gleichgewicht erhält.

Bringt man ein Gefäss, wie Fig. 49., das mit Wasser halb angefüllt und mittelst eines Stöpsels geschlossen ist, durch welchen ein offnes Glasrohr mit enger Ausmündung bis unter den Wasserspiegel hinabgeht, unter die Glocke der Luftpumpe und pumpt aus, so wird das Wasser durch die überwiegende Spannkraft der eingeschlossenen Luft mit Gewalt herausgetrieben. Dieselbe Erscheinung lässt sich auch im offenen Luftraume hervorbringen, wenn man zuvor Luft in das Gefäss einpresst und dadurch die innere Spannkraft vergrössert. Heronsball. Das Spritzglas des Chemikers.

Bringt man eine kleine Menge trockner Luft, die in dem engen und in Unterabtheilungen gebrachten Glasrohr *a b* (Fig. 50.) mittelst Quecksilbers abgeschlossen ist und ausserhalb der Luftpumpe in dem Raume *a c* ausfüllt, vergrössert ihren Umfang, sobald die

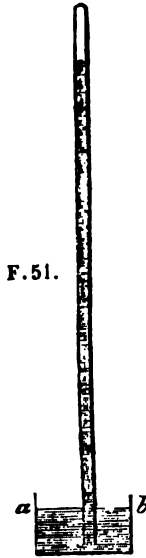


man den Behälter *o*, der von dem Raume *a c* nur durch das flüssige Quecksilber getrennt ist, verdünnt wird. Unter einer guten Luftpumpe erweitert sich das Volum *a c* um das 300fache und mehr; dies gelangt man zu einer Gränze, über welche hinaus, mittelst der gegebenen Luftpumpe, die Verdünnung nicht getrieben werden kann. Der schädliche Raum.

Die atmosphärische Luft müsste sich vermöge der abstoßenden Kraft ihrer Theile bis ins Unbegrenzte ausdehnen, sie müsste die weiten Weltraume zerstreuen, wenn nicht ihrer Spannkraft ein Widerstand das Gleichgewicht gehalten würde. Dieser Widerstand ist ihr Gewicht. Das Gewicht der Luft lässt sich mittelst der Luftpumpe aufs augenscheinlichste nachweisen. Eine hohle, luftdichte Glaskugel, die mittelst eines Hahns verschliessbar ist, lässt sich nachdem ein Theil der Luft daraus entfernt worden, an der

Wage ins Gleichgewicht gebracht. Man lasse sodann durch den Hahn die Luft wieder eindringen, die Wagschale, Glaskugel hängt, wird sogleich sinken; diese Gewichtszunahme aber nur von dem Gewichte der eingedrungenen Luft

Da die Luft schwer ist, muss sie auf ihre nämlich auf die feste wie flüssige Erdoberflächen. Man kann durch folgenden Versuch, dass ein solcher Druck wirklich stattfindet. Ein Rohr von wenigstens 30 Par. Zoll Höhe, dessen Ende zugeschmolzen ist, werde mit Quecksilber angefüllt, die Oeffnung mit dem Finger geschlossen, umgekehrt und in ein von derselben Flüssigkeit haltendes, flaches Gefäss eingesenkt. Entfernt man dann den Finger, so wird die Quecksilbersäule um einige Zoll herabsinken, dann aber sich bei einer Höhe von 28 Zoll senkrechter Höhe in Ruhe stellen. Diese Höhe des Quecksilber enthält, wenn der Versuch richtig gestellt worden, keine Luft und wird bei jeder Neigung des Rohrs wieder ganz von der Quecksilbermasse ausgefüllt. Die Grundfläche dieser über sich erhebenden Quecksilbersäule hat das Gewicht der letzteren zu tragen. Wenn nun ein gleich grosses Stück des ebenen Quecksilberspiegels denselben Druck auszuhalten hätte, so würde ein Gleichgewicht entstehen können, und der Quecksilber-Inhalt des Rohrs müsste ausfliessen. Da er zurückbleibt, muss man schliessen, dass die Atmosphäre auf die Oberfläche der Erde einen Druck ausübt, so gross, als ob letztere von einer Quecksilbermasse von 28" Höhe bedeckt wäre. Denselben Druck ist jeder Körper an der Erdoberfläche, und zwar von allen Seiten her, ausgesetzt (160.).



Flüssigkeiten die leichter sind als Quecksilber, müssen in luft im verkehrten Verhältnisse ihrer geringeren Dichtigkeit höher steigen, um dem Luftdruck das Gleichgewicht halten zu können. Wenn man das eine Ende eines offenen cylindrischen Rohrs, worin sich ein die Luft sender, übrigens beweglicher Kolben befindet, ins Wasser taucht, und diesen aufzieht, so folgt die Flüssigkeit nach, bis zu 13,599. 28 Zoll oder senkrechter Höhe über dem Wasserspiegel. Weiter lässt sich das Wasser durch den Einfluss des Luftdrucks nicht heben, wenn auch der Kolben steigt. Mit Wasser angefüllte Gefässe, die man in einem weiteren Gefäss hält, kann man daher (innerhalb der berechneten Gränze) von der Rande der Oeffnung herausheben, ohne dass etwas ausfliesst. (Der Torricelli). Die richtige Erklärung dieses Verhaltens ist zuerst von Evangelista Torricelli um das Jahr 1644 gegeben worden.

Der Luftdruck lässt sich auch durch Versuche mit der Luftpumpen anschaulich machen. Z. B. die Glasglocke haftet, nachdem die Luft aus ihr entfernt ist, fest an dem Teller. — Wird ein oben offener Recipient mit der Luft gefüllt und die Luft darunter verdünnt, so wird die Hand fest auf die Oeffnung gedrückt und kann nicht ohne Anstrengung weggerissen werden.

Bei der Oeffnung des Recipienten gespannte Blase senkt sich während des Auspumpens; wenn der Durchmesser wenigstens 3—4 Zoll beträgt, wird sie nicht eingedrückt. Guericke's Versuch mit hohlen Halbkugeln. In Glasröhren, deren Ende in Quecksilber oder Wasser eintaucht, deren oberes mit dem Recipienten verbunden ist, steigt die Flüssigkeit während des Auspumpens. Wie man auf diese Weise eine Flüssigkeit gehoben werden? Warum werden lockere Stoffe durch den Druck der Luft nicht zusammengedrückt? Wird die freie Beweglichkeit des menschlichen Körpers nicht dadurch gehindert? Eine Folge der gleichförmigen Fortpflanzung des Luftdrucks nach allen Richtungen hin ist auch die rückwirkende Kraft der ausströmenden Luft.

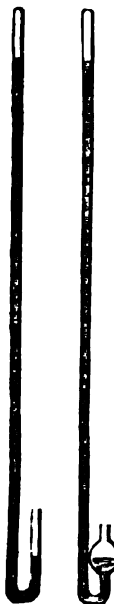
Nur die am niedrigsten gelegenen Strecken der Erdoberfläche befinden sich unter dem Drucke der ganzen Atmosphäre. Höhere Gegenden haben nur die über ihnen schwebenden Luft zu tragen. Der Luftdruck muss daher in den höheren Theilen der Atmosphäre abnehmen. In der That findet man, dass Quecksilber aus dem Rohre (Fig. 51.) zum Theil ausfließt, auf hohe Berge getragen wird.

Der erste Versuch dieser Art wurde (1649) durch Pascal's Veranlassung auf dem Gipfel des Puy de Dome in der Auvergne angestellt. Torricelli's Versuch mit Quecksilber, erhielt dadurch eine Vervollständigung, die Zweifel mehr Raum gestattete. Uebrigens hat schon Aristoteles bemerkt, dass die Luft aus dem Umstande geschlossen, dass Lederschläuche sich mit Luft an Gewicht zunehmen.

Barometer. Eine Geräthschaft, ähnlich dem luftleeren, aber mit einer beweglichen Quecksilbersäule enthaltenen Glasrohr (Fig. 51.), welche gebraucht werden kann, die Grösse des Luftdrucks zu messen, wird Barometer oder Luft-Schweremesser genannt. Wenn das untere offene Ende des Rohrs, wie in Fig. 42., in ein weiteres Gefäss eintaucht, so heisst es Gefäss-Barometer. Heber-Barometer nennt man es, wenn der untere Theil des Rohrs heberförmig umgebogen ist, wie in Fig. 53., dergestalt, dass der kurze, offene und also dem Zutritt der Luft ausgesetzte Schenkel desselben selbst die Stelle des Gefässes vertritt. Ist der untere umgebogene Theil des Rohrs zu einem Gefässe erweitert worden, wie in Fig. 54., so führt es die Namen Kugel-Barometer, Flaschen-Barometer, auch wohl gemeines Barometer und Wetterglas.

Man hat schon frühzeitig die Bemerkung gemacht, dass die Höhe der Barometer-Säule nicht nur mit der Höhe des Beobachtungsortes wechselt, sondern auch an einem und demselben Orte, von Tag zu Tage, ja von Stunde zu Stunde bald grösseren, bald geringeren

Fig. 53. Fig. 54.



Schwankungen unterworfen ist. Da dieser Wechsel mit dem übrigen Beschaffenheit unserer Atmosphäre im Zusammenhange stehen muss, und man also hoffen durfte, durch die Kenntniss der ersteren Aufschlüsse über die Ursachen des letzteren zu gewinnen, so ist das Barometer sehr bald nach seiner Erfindung ein viel gebrauchtes physikalisches Instrument geworden. Auch man demselben, theils in der Absicht, um seine Empfindlichkeit zu vermehren, theils um seine Anzeigen mit grösserer Bequemlichkeit oder Sicherheit und Schärfe beobachten und messen zu können im Laufe der Zeit, ausser der schon erwähnten, sehr mannichartige andere Formen gegeben. Sie sind grösstentheils, als unzuverlässig, wieder in Vergessenheit gerathen.

Die Güte und Brauchbarkeit des Barometers hängt hauptsächlich davon ab, dass das nicht unter zwei Linien weite Rohr reinem Quecksilber gefüllt sey, dass der Raum über dem Quecksilber (die Torricelli'sche Leere) keine Luft enthalte und dass die Werkzeuge ein richtiger Maassstab beigegeben sey, der eine neue Messung des lothrechten Abstandes des oberen von dem unteren Quecksilberspiegel gestattet. Dieser Maassstab muss selbst in lothrechte Stellung gebracht werden können und die Quecksilbersäule ihrer ganzen Länge nach begleiten.

Reinigung des Quecksilbers: durch Destillation und nachheriges Schütteln mit Schwefelammonium, um beigemengtes Quecksilberoxyd zu entfernen, oder längeres Schütteln mit reiner, stark verdünnter Salpetersäure. In beiden Fällen wird das Quecksilber zuletzt mit destillirtem Wasser ausgewaschen und getrocknet. Einfüllen des Quecksilbers in das ausgetrocknete Rohr durch einen Trichter mit sehr feiner Oeffnung. Auskochen des Barometers. Durch Austreten des Rohrs und Quecksilbers unter der Luftpumpe mittelst Schwefelsäure Einfüllen im luftverdünnten Raume lässt sich das Auskochen sehr erleichtern ja ganz ersparen.

Bei den besten Gefässbarometern ist das Glasrohr seiner ganzen Länge geradlinigt, möglichst cylindrisch und in der Mitte des ebenfalls cylindrischen Gefässes befestigt. Es ist mit einer Hülse von Messing umgeben, woran eine Theilung des Maasses aufgetragen ist. Diese Hülse ist am oberen Theile, an der Kuppe der Quecksilbersäule sichtbar zu machen, an zwei gegenüberstehenden Seiten 2 — 2,5 Linien breit und 12 — 13 Zoll hoch ausgeschnitten. Durch diesen Spalt, den man zwischen Fenster und Auge richtet, lässt sich der Stand des Quecksilbers leicht beobachten. Die genauere Einstellung geschieht mittelst eines Nonius. Während des Gebrauchs wird das Instrument wie ein Pendel an einer Achse aufgehängt, die über der Mitte der Hülse angebracht ist und das Barometer selbst wieder auf einer Axe ruht, welche die Richtung der ersteren rechtwinklig durchkreuzt. Der Zweck dieser ganzen Anordnung ist, dem Maasse die lothrechte Stellung zu sichern. — Zum Zwecke sehr genauer Messungen ist der Stand des Quecksilberspiegels im Gefässe nicht als unveränderlich betrachtet werden. Gleichwohl muss der 0 Punct der Scala (des Maassstabs) stets der Ebene desselben zusammenfallen. Dieser Bedingung kann bei manchen Barometern nur durch Rechnung genügt werden; bei andern gestattet die Anordnung des Instrumentes, die erforderliche Berichtigung durch einen Versuchsversuch herzustellen. Die verschiedenen Mittel, welche man zur Erreichung des letzteren Zweckes angewendet hat, bilden die wesentlichsten Verschiedenheiten nach Hörner, Fortin und Andern benannten Gefässbarometer. (Gehl. I. S.

Das Heberbarometer erfordert stets eine Messung des Standes beider Quecksilberspiegel. Sein Gebrauch ist daher, so oft grosse Genauigkeit eine ganz nothwendige Bedingung ist, etwas umständlicher, als der des Messbarometers. Dagegen ist ersteres viel leichter und bequemer zu tragen als letzteres; es eignet sich daher vorzugsweise als Reisebarometer und Höhenmessbarometer. — Bei den besten Heberbarometern ist das Rohr an beiden Enden, so weit die Schwankungen der beiden Quecksilberspiegel gehen können, genau gleich weit, übrigens wie Fig. 55. gebogen. Durch diese Biegung ist der untere Quecksilberspiegel lothrecht unter den oberen gebracht; ihr Abstand kann leichter gesehen und mittelst eines einzigen, in lothrechter Stellung angelegten Maassstabes gemessen werden. Der Maassstab, gewöhnlich ein schmaler Messingstreifen, der das Rohr seiner ganzen Länge nach begleitet, kann mit diesem in einer Hülse eingeschlossen, oder auch auf einem Brette befestigt werden. Ist die Scala unverrückbar, so befindet sich oben und unten ein Nonius nebst Zeiger oder Visir-Vorrichtung zur genaueren Einstellung. Man hat aber auch Heberbarometer mit verschiebbaren Scala; sie ersparen den zweiten Nonius und vereinfachen überhaupt das Messen. Bewegliche Barometerrohre auf unverrückbarer Scala sind weniger zu empfehlen.

Um das Heberbarometer zum Transporte einzurichten, neigt man es, damit die leere Kammer sich ganz anfüllen kann; der untere offene Theil des Rohrs wird dann mittelst eines elastischen Stüpsels, am besten von Gummi Elasticum mit Seide umwickelt, und an einem Fischbeinstab befestigt, verschlossen, indem man denselben bis in die Quecksilbermasse herabdrückt. Gay-Lüssac sucht bei den nach ihm benannten, sehr verbreiteten Reisebarometern die Schwankungen während des Transportes, so wie das Eindringen der Luft in den oberen Theil dazu zu verhindern, dass er den Uebergang des Quecksilbers aus einem Schenkel in den andern nur durch ein fast haarfeines Rohr gestattet.

Die Anordnung bei den Schiffbarometern, die übrigens zu der Klasse Taschbarometer gehören. (Gehl. I. S. 777.)

Die Wichtigkeit der richtigen Stellung des Auges beim Messen des Barometers. Die Visir-Vorrichtungen, um den Fehlern, die hierdurch entstehen können, zu begegnen. (Handw. d. Ch. u. Phy. I. S. 680.)

Flaschenbarometer, unter allen Barometern das am meisten verbreitete und häufigste gebrauchte, kann als eine Abart des Gefässbarometers betrachtet werden. Es wird als eigentliches Messwerkzeug gewöhnlich nicht verwendet; seine Bestimmung ist vielmehr die eines meteorologischen Instrumentes; dienen, um aus einer annähernden Kenntniss der eintretenden Schwankungen des Luftdrucks Folgerungen auf die bevorstehenden Witterungsverhältnisse zu ziehen; daher der Name Wetterglas. Ein eigentlicher Maassstab ist niemals angebracht und nur an dem oberen Theile des Brettes, worauf das Instrument fest sitzt, ein getheiltes Papierstreifen aufgeklebt, der je nach dem andern Zweck haben kann, als den, die Grösse der vorkommenden Schwankungen mit grösserer Bequemlichkeit zu schätzen.

Der Durchmesser eines Barometerrohrs weniger als 6 Par. Linien beeinflusst die Capillardepression einen Einfluss auf die Höhe der Quecksilbermasse, der nicht mehr unbeachtet bleiben kann. Gefässbarometer geben aber einen zu niedrigen, Heberbarometer (weil die Krümmung des Meniskus in den offenen Theile immer stärker ist, als in der leeren Kammer) einen zu hohen. Um diesen Fehler zu berichtigen, hat man bis jetzt kein anderes Mittel, als die Vergleichung mit solchen Barometern, bei welchen keine Capillardepression eintreten kann, d. h. welche sehr weit (wenigstens 6 Linien weit) sind. Insonderheit eine sehr genaue Messung zulassen. Instrumente dieser Art sind als Normal-Barometer genannt. Man zieht Barometer mit engen Röhren vor, weil sie wohlfeiler und compendioser sind und sich besser zum

Transporte eignen. Die Anzeigen derselben sind brauchbar, wenn x für allemal durch Vergleichung mit einem Normalbarometer corrigirt

Das auf der Barometerscala aufgetragene Längenmaass ist gewöhnlich weder der alte französische Fuss oder das Meter. Ersteres ist nur für die Temperatur von $16^{\circ},25$, letzteres nur für die von 0° richtig. Für jede andere Temperatur hat man daher eine kleine Berichtigung vorzunehmen, die, wie in der Theorie der Scala, wie gewöhnlich, Messing ist, nach der Formel (62.)

$$x = \frac{(54000 + t) b}{54000 + 16,25} \text{ geschieht;}$$

b bedeutet hier den beobachteten Barometerstand, t die Temperatur des Maassstabs. Eine hinreichende Genauigkeit gewährt auch die Näherung $x = b + 0,006 (t - 16,25)$ für das alte französische Maass, oder $x = b$ für das Meter.

Eine zweite Berichtigung erheischt die mit dem Stande des Thermometers veränderliche Dichtigkeit des Quecksilbers, wodurch bei einem und demselben Luftdrucke dennoch ungleich hohe Barometerstände entstehen müssen. In dieser Beziehung sind die Beobachtungen auch in dieser Beziehung vergleichbar. Es ist es nothwendig, sie auf einerlei Temperatur des Quecksilbers zurückzuführen. Gewöhnlich wählt man hierzu den Schmelzpunkt des Eises. Die absolute

Dehnung des Quecksilbers beträgt für jeden Thermometergrad $\frac{1}{5550}$ des gemessenen Rauminhaltes, also in unserem Falle der bei 0° gemessenen Säule. Der Stand des Barometers von t° auf 0° reducirt, ist

$$x = \frac{5550 b}{5550 + t}$$

Wenn die bei t° gemessene Länge von derjenigen von 336° nicht mehr abweicht, so darf man auch nach der Näherungsformel $x = b - 0,006$

Der dadurch begangene Fehler kann $\frac{2}{100}$ Linien nicht übersteigen.

Ausführlicheres über das Barometer findet man im Handw. d. Cl. S. 671; auch in Gehl. Wört. I. S. 759.

196. Der Luftdruck oder eine der Grösse desselben entsprechende Quecksilberhöhe dient häufig als Maass für solche Pressungen, die unabhängig von der Grösse der gedrückten Fläche zu werden sollen. Da aber der Barometerstand fortwährenden Veränderungen unterliegt, so versteht man unter einem atmosphärischen Drucke vorzugsweise den Druck einer Quecksilbersäule von $0,76$ Meter = $336,9$ Par. Linien Höhe, oder, was dasselbe einer Wassersäule von $31,8$ Par. Fuss. Es ist dies der mittlere Barometerstand am Meere.

Beispiel: Die Fische in einer Tiefe von 318 Fuss unter der Meeresfläche sind ringsum einem Drucke von 10 Atmosphären ausgesetzt.

Um den Atmosphärendruck in Gewicht, oder umgekehrt den Atmosphärendruck zu übersetzen, hat man zu merken, dass eine Quecksilbersäule von $0,76$ Meter Höhe

für je 1 Q. Centimeter Grundfläche wiegt	1,0337 Kilogramm
„ „ 1 Q. Decimeter	103,3700
„ „ 1 Paris. Q. Linie	0,0527
„ „ 1 Paris. Q. Zoll	7,5884
„ „ 1 Paris. Q. Fuss	1092,7000

Beispiel: In ein Gefäss von beliebigem Umfange, das mit Flüssigkeit ganz gefüllt ist, werde durch eine Oeffnung von 0,25 Q. Z. Querschnitt ein dicht anliessender Stöpsel mit einer Kraft von 45,5 Kgrm. eingetrieben; so befindet sich die eingeschlossene Flüssigkeit und ebenso die Innenwand des Gefässes unter einem Drucke von $\frac{45,5}{7,5884 \cdot 0,25} = 24$ Atmosphären.

Sehr vielen Berechnungen, besonders in älteren deutschen Schriften, ist als Maß des Atmosphärendrucks eine Quecksilberhöhe von 336 Par. Lin. oder 28 Zoll Grunde gelegt. Keine dieser beiden, übrigens wenig von einander abweichenden Grundlagen hat wirkliche Vorzüge vor der andern; die erstere, nämlich 9 P. L., ist aber in neuerer Zeit üblicher geworden als die letztere.

197. Der Stand des Barometers (Schweremessers) ist nicht nur ein genaues Maass des Gewichtes der Atmosphäre; er berechnet zunächst nur die Grösse ihrer Spannkraft, d. h. die des Widerstandes, welchen die Lufttheile einem äusseren Drucke entgegensetzen. Man verschliesse den offenen Theil des Instrumentes gegen den Zutritt der äusseren Luft; die Höhe der Quecksilbersäule wird dadurch nicht im geringsten geändert. Verändert man aber die innere eingeschlossene Luft und vermindert dadurch ihre Spannkraft, so sinkt das Quecksilber, verdichtet sich die innere Luft, so steigt das Quecksilber im Barometer.

198. Das Mariottische Gesetz. Die Spannkraft der Luft verhält sich zu ihrem räumlichen Inhalte in einer sehr einfachen Beziehung, die sich auf folgende Art aussprechen lässt: Bei gleichbleibender Temperatur verhält sich die Spannkraft der Luft direkt wie ihre Dichtigkeit, oder: der Rauminhalt einer gegebenen Luftmenge ändert sich im verkehrten Verhältnisse des äusseren Drucks und ihrer eignen Spannkraft.

Dieses wichtige Gesetz ist fast gleichzeitig von Boyle und Mariotte (um 1670) entdeckt und besonders von Letzterem durch genaue Versuche erwiesen worden.

Ein offnes cylindrisches Rohr von mehr als 30 Zoll Länge, dessen obere Hälfte in gleiche Volumabtheilungen gebracht ist, werde in ein Quecksilberbehälter von entsprechender Tiefe (Fig. 56.) bis an den oberen Rand eingesenkt, so dass es sich ganz anfüllt. Hierauf mit dem Finger bei A geschlossen und allmählig herausgehoben, bleibt es gefüllt, und erst bei einer Höhe von 28 Zoll trennt sich die enthaltene Quecksilbersäule von dem Finger, um fortan diese dem Luftdrucke entsprechende Höhe unverändert zu behaupten. Man wiederhole denselben Versuch, jedoch in der Weise, dass in dem cylindrischen Rohr, bevor es mit dem Finger zugehalten wird, ein Volum Luft zurückgelassen ist. Auch jetzt wird eine Quecksilbersäule mit herausgezogen; sie wird jedoch nie die Höhe von 28 Zoll erreichen, so weit man auch das Rohr erheben mag. Der Grund ist, weil die Spannkraft des eingeschlossenen Luftvolums für sich schon einem Theile des Atmosphärendrucks das Gleichgewicht hält; gerade um so viel muss die innere Quecksilbersäule niedriger stehen, als der Stand des Barometers. Der Unterschied beider Quecksilberhöhen bezeichnet daher die jedesmalige Spannkraft der in dem Rohre oberhalb des Quecksilbers abgeschlossenen Luft. Indem nun das Rohr nach und nach so weit herausgezogen wird, dass der Umfang der eingeschlossenen Luft sich verdoppelt, verdreifacht, vervierfacht u. s. w., findet man, dass die dieser ausgedehnten Luft ent-

Fig. 57. sprechenden Spannkräfte nur $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, u. s. w. des anfänglichen betrugen.



Um die Richtigkeit des mariottischen Gesetzes für verdichtungen zu beweisen, bedient man sich eines langen, oben offenen Glasrohrs, dessen unterer Theil heberförmig umgebogen, in gleiche Theile getheilt und zugeschmolzen ist. Eine kleine Quecksilbersäule in dem kurzen Schenkel enthaltene Luft vor dem Zutritt der aus dem oberen Schenkel giessenden Quecksilber in den offenen Theil des Rohrs eingeschlossen. Die abgesperrte Luft verdichtet, dergestalt, dass die Hälfte ihres anfänglichen Umfangs bleibt, wenn der Unterschied beider Quecksilberspiegel der Barometerhöhe entspricht. Oder mit andern Worten: wenn der anfängliche Druck sich verdoppelt hat. Auf gleiche Weise wird durch das Dreifache des anfänglichen Druckes die abgesperrte Luft auf ein Drittel des anfänglichen Volumens verdichtet. Die Richtigkeit dieses Verdichtungsgesetzes ist von Dulong bis zu dem Drucke von 27 Atmosphären geprüft worden. (XVIII. 441.) Es lässt sich nicht bezweifeln, dass auch weit höhere Verdichtungen nach demselben Verhältnisse eintreten, wiewohl bis jetzt keine ganz zuverlässigen direkten Beweise hat.

199. Das mariottische Gesetz gilt nicht bloss für alle gasförmigen Stoffe; jedoch für je nach gewissen Gränzen der Verdichtung, die von der Natur des Stoffs, so wie von der herrschenden Temperatur abhängig sind und für deren Bestimmung keinen andern Anhaltspunct als die Erfahrung bietet.

Mehrere Gase, wie Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, gehorchen dem mariottischen Gesetze, selbst unter der Einwirkung der verdichtenden Kräfte, denen man sie bis jetzt unterworfen zu folgen. Andere verdichten sich, über eine gewisse Gränze hinaus, als es das mariottische Gesetz verlangt, und gehen bei noch stärkeren Verdichtungen in den tropfbar flüssigen Zustand über. Der hierzu erforderliche Druck um so geringer, je niedriger die Temperatur ist. Beispiel: Zwei Glasröhren, die eine mit trockenem schwefligsaurem Gase, die andere mit Luft gefüllt, wurden mit ihrem unteren offenen Ende in einen Cylinder mit Quecksilber getaucht, Schälchen und Röhren in einen Cylinder gesetzt, dieser mit Wasser gefüllt und nun, mittelst einer befindlichen Schraubenpresse, bei einer Temperatur von 21°, 25° C. ergaben sich folgende Verdichtungen (Oersted in Pogg. Ann. B. I.

Bei der Luft: 1; 2; 2,28; 2,37; 2,51; 2,97; 3,19.
 Bei dem Gase: 1; 2; 2,28; 2,36; 2,53; 3,02; 3,32.

Bei noch grösserem Drucke bildeten sich Tropfen von schwefligsaurem Gase an den Wänden des Glasrohrs. Schwefligsaures Gas folgt also dem mariottischen Gesetze, bei 21°, 25°, genau nur bis zu 2,3 Atmosphären Druck.

Durch verstärkten Druck können folgende gasförmige Körper bei niedrigeren Temperaturen tropfbar flüssig gemacht werden:

Namen des Gases.	Temperatur.	Druck in Atmo
Ammoniak	— 33°	1
„	0	5
„	+ 10°	6,5
Chlor	0	6,5
Chlorwasserstoff	0	33
Cyan	12,5	4
Kohlensäure	— 20	26
„	0	36

Namen des Gases.	Temperatur.	Druck in Atmosphären.
Kohlensäure . . .	+ 30 . . .	73
Schweflige Säure . . .	- 10 . . .	1
” . . .	+ 7 . . .	2
” . . .	+ 12,5 . . .	3
Stickstoffoxydul . . .	0 . . .	44

Wenn man sich vorstellt, dass die kleinsten Theile der Gase, vermöge der umgebenden Wärmeatmosphären (48) nach allen Richtungen hin eine gleiche Ausdehnung ausüben, während andere, entgegengesetzte Kräfte entweder nicht vorhanden oder im Gleichgewichte sind; so gelangt man, unter Voraussetzung gleichbleibender Temperatur oder stets gleicher Abstossungskraft (70.), zu derselben einfachen Beziehung zwischen Dichtigkeit und Spannkraft, welche das Mariottische Gesetz kennen lehrt. Allein alle materiellen Theile besitzen ein gewisses Anziehungsvermögen, das bei einer gewissen wechselseitigen Annäherung einen messbaren Einfluss zu äussern beginnt. Diese neue Kraft addirt sich zu dem von Aussen her, wirksamen Druck und bewirkt, dass die Dichtigkeitszunahme mit dem letzteren nicht mehr gleichen Schritt halten kann.

300. Die Umfangsveränderungen, welche gasförmige Körper bei verändertem Drucke erfahren, lassen sich mit Hilfe des Mariottischen Gesetzes im Vorausbestimmen. Ein Gasvolum V sey bei dem Drucke a gemessen worden, bei irgend einem andern Drucke b wird es den Umfang v einnehmen, wenn $V: a = v: b$. Daher das gesuchte

$$\text{Volum } v = \frac{V \cdot b}{a}$$

Beispiel: Es sind 1320 C. C. Kohlensäure über Quecksilber in einer Glasglocke (Fig. 58.) abgesperrt; der Barometerstand ist 335^{mm}; die Sperrflüssigkeit steht innerhalb der Glocke 23^{mm} über dem äusseren Niveau; es ist das Volum des Gases bei 336^{mm} Druck zu bestimmen. Man findet $v = \frac{1320 (335 - 23)}{336} = 1225,7$.



Fig. 59. sey z. B. von 336 auf 1 Linie herabgesunken, so lässt sich hieraus auf eine 336 fache Verdünnung schliessen, insofern der innere Raum durch eine austrocknende Substanz, z. B. concentrirte Schwefelsäure, ganz trocken geworden ist. Mit Hilfe der besten Luftpumpen kann man trockne Gase bis zu $\frac{1}{473}$ und weiter verdünnen.

Um den mit der Luftpumpe erreichten Grad der Verdünnung zu messen, bedient man sich gewöhnlich eines abgekürzten Heberbarometers, das den Namen Verdünnungs-Manometer erhalten hat (Fig. 59.).

Aehnliche Apparate, die man gebraucht, um die Spannkraft verdichteter Luft, zu messen, werden Verdichtungs-Manometer genannt; sie haben bald die Gestalt eines Heberbarometers, bald die eines Gefässbarometers, und unterscheiden sich von demselben wesentlich nur dadurch, dass das Rohr oben offen ist; sie zeigen also nur an, um wie viel der innere Druck mehr beträgt als der der äusseren Luft. Der Windmesser der Gebläsemaschinen ist ein Verdichtungs-Manometer, der jedoch gewöhnlich mit Wasser statt mit Quecksilber gefüllt ist. Sicherheitsröhren.

Da die Verdichtung einer gegebenen (z. B. in einem graduirten Glasrohr durch Quecksilber abgesperrten) Luftmenge im geraden Verhältnisse der

verdichtenden Kraft steht, so kann man die Grösse der letzteren, z. B. die Kraft eines mittelst der Luftpumpe comprimierten Gases auch aus dem (ersteren ableiten. Messwerkzeuge, deren Einrichtung auf diesem Princip beruht, nennt man ebenfalls Verdichtungs - Manometer.

201. Die unmittelbare Anwendung des mariottischen Gesetzes um aus dem veränderten äusseren Drucke die Volumsveränderungen eines gasförmigen Körpers abzuleiten, oder umgekehrt so lange gestattet, als die Temperatur, wie hoch oder wie niedrig sie sey, sich gleich geblieben ist. Hat ein Gas bei der Spannkraft B gemessen ist, seine Temperatur von T^0 auf t^0 geändert, so bezieht sich ein verändertes Volumen v , für welches man das entsprechende Volum v bei der Temperatur t^0 ableiten will, nicht mehr auf das ursprüngliche Volumen V , sondern auf das, was aus V durch die Erwärmung oder Abkühlung geworden ist. Man muss daher zuerst setzen (71):

$$273 + T : 273 + t = V : x$$

und dann $x : v = b : B$

Beide Proportionen zusammen geben:

$$v = \frac{(273 + t) B \cdot V}{(273 + T) b} \quad \text{oder auch} = \frac{1 + 0,3665 t}{1 + 0,3665 T} \cdot V$$

202. Eine Luftmenge V , bei dem Stande B des Barometers und des Thermometers gemessen, erhält, wenn die Temperatur sich ändert, der Luftdruck aber unverändert geblieben ist den

$$v = \frac{(273 + t) V}{(273 + T)}; \quad (201)$$

Soll nun dieses Volumen v , dem also nach Annahme der Temperatur t der Druck B zugehört, ohne einen neuen Wechsel der Temperatur auf den früheren Rauminhalt V zurückgeführt werden, so hat man hierzu eines Druckes b , von der Grösse, dass $b : B = v : V$

$$b = \frac{v \cdot B}{V} = \frac{273 + t}{273 + T} \cdot B$$

Befindet sich die Luftmenge V in einem Behälter mit festen Wänden eingeschlossen, so dass sie bei eingetretener Temperaturveränderung sich weder ausdehnen noch zusammenziehen kann, so ändert sich ihre Spannkraft, gerade so, als wäre sie bei dem Wechsel der Temperatur und nachdem sie den Umfassen genommen hatte, dem Drucke b ausgesetzt und dadurch auf den früheren Rauminhalt V zurückgebracht worden; d. h. Wie ein gasförmiger Körper bei stets gleichbleibendem Rauminhalte von T^0 zu t^0 erwärmt oder abgekühlt wird, verhält sich seine anfängliche Spannkraft B in

$$b = \frac{273 + t}{273 + T} \cdot B;$$

oder: die durch Temperaturwechsel bei gleichem Rauminhalte

1. **Volume eines Gases veränderten Spannkraften verhalten sich wie die bei gleichbleibendem Drucke veränderten Volume.**

Nützlich kann die Spannkraft der Gase durch Erhöhung der Temperatur nach angegebenen Zahlenverhältnisse nur dann zunehmen, wenn das Ausdehnungsverhältniss, so wie es in der Rechnung zu Grunde gelegt worden, richtig ist. Ausnahmsweise die Spannkraft bei ungeändertem Volume eines Gases abzuleiten lassen das Gesetz der Ausdehnung mit derselben Freiheit ableiten lassen, wie aus der Zunahme des Volums bei veränderten Drucke. Dieser Weg, den Ausdehnungs-Coefficient der Luft finden, ist zuerst von Rudberg eingeschlagen worden, (Pogg. Ann. 44). Die Geräthschaft, deren er sich zu seinen Versuchen bediente eignet, sich zum Gebrauche als Luftthermometer.

13. **Die Wärmemenge, welche ein gasförmiger Körper bei gleichem Volume zur Erhöhung seiner Temperatur bedarf, ist geringer als seine specifische Wärme unter constantem Drucke.**

Der Unterschied ist gleich derjenigen Wärme, welche das zur Erweiterung seines Volums aufnehmen muss und die von Thermometer nicht angezeigt wird, der sogenannten Ausdehnungswärme (88). Wird der Umfang eines Gases plötzlich erweitert, so muss er die erforderliche Ausdehnungswärme, grösstentheils aus seiner eignen freien Wärme schöpfen; es erfolgt daher eine Erniedrigung der Temperatur. Findet dagegen eine plötzliche Verdichtung statt, so wird ein entsprechender Theil der Ausdehnungswärme frei, und die Temperatur des Gases erhöht sich.

Man bringe unter den Recipienten der Luftpumpe ein empfindliches Thermometer weiter rasch den inneren Raum. Das Thermoscop zeigt sogleich eine Erniedrigung der Temperatur, kehrt aber in Folge des erwärmenden Einflusses der Umgebung bald auf den früheren Stand zurück. Jetzt lasse man durch Öffnen eines Hahns die äussere Luft rasch einströmen, so dass die in dem inneren Recipienten bereits enthaltene Luft sich wieder verdichten muss. Das Thermoscop zeigt vorübergehend eine Erhöhung der Temperatur. Compressionsfeuerzeug. Im Recipienten der Luftpumpe während des Auspumpens. Die Abkühlung während der Ausdehnung ist so bedeutend, dass feuchte Luft, die man in eisernen Gefässe stark verdichtet hat und dann durch eine nicht zu enge Oeffnung plötzlich ausströmen lässt, an einer vor die Oeffnung gehaltenen Glaslinse in Menge absetzt.

Man hat die Verdichtungswärme der Gase sowohl aus ihrer Temperatur-Erhöhung während der Verdichtung, wie auch aus der in Folge der Erwärmung durch die Spannkraft abzuleiten versucht; zu sehr genauen Resultaten konnte man sich auf keinem dieser Wege gelangen, weil die den Gasmengen, worüber die Versuche gemacht werden, mitgetheilte Wärme, wegen der ungleichen Verhältnisse, zu derjenigen der Gefässwände, stets nur geringen Theil abgibt, und die kältere Umgebung überging. Zuverlässigere Resultate erhält man auf einem Umwege erhalten, indem er den Einfluss bestimmte, welche durch Verdichtung frei werdende Wärme gasförmiger Körper auf die Ausbreitung des Schalls durch ihre Masse ausübt. Das Nähere dieses Verfahrens jedoch erst später erörtert werden. Aus Dulong's Untersuchungen erhellt, dass die Temperatur-Erhöhung durch eine Verdichtung, oder die Temperatur-Erniedrigung durch eine Ausdehnung von je $\frac{1}{273}$ des ursprünglichen Volumens ausgesetzt, dass dieses bei 0° und unter 0,76 Metres Druck gemessen wird: für atmosphärische Luft, Sauerstoffgas, Wasserstoffgas und für alle einfachen Gase 0,421 Grad des hunderttheiligen Thermometers;

ferner für Kohlensäuregas $0^{\circ},337$; Kohlenoxydgas $0^{\circ},423$; Stickstoffoxyd $0^{\circ},343$; ölbildendes Gas $0^{\circ},240$. Andere Gase sind nicht untersucht worden.

Nun weiss man, dass die Gase für je 1° Temperatur-Erhöhung sich um $\frac{1}{273}$ ausdehnen; wenn demnach die Wärmecapacität der Luft bei constantem Volume zu 1 genommen wird, so ist ihre Capacität unter constantem Drucke 1,421. Eben findet man das Verhältniss beider Wärmecapacitäten für Kohlensäure 1:1,337 u. s. f. Man kann hiernach leicht berechnen, wie stark sich ein Gas plötzlicher Verdichtung oder Ausdehnung erwärmen oder abkühlen muss. 2 Atmosphärische Luft bei 0° und unter 0,76 Meter Druck auf die Hälfte ihres Volums, also um $\frac{136,5}{273}$ comprimirt, würde sich ohne den Einfluss der Umgebung

$136,5 \cdot 0,421 = 57,5$ erwärmen.

Allgemein findet man, dass die Abweichung von der früheren Temperatur trägt: $t = \frac{(V - V')}{V} (273 + T) 0,76 \cdot \alpha;$

wovon V das ursprüngliche Volum bei T° und unter Barometerdruck, V' das veränderte Gasvolum, α die Wärmeentwicklung für $\frac{1}{273}$ Verdichtung, z. B. bei einfachen Gasen die Zahl 0,421 vorstellt.

Der so gefundene Werth von t lässt sich jedoch nur als eine Annäherung betrachten, weil die Wärmecapacität gleicher Gewichte gasförmiger Körper bei der Verdichtung in einem bis jetzt nicht genau bekannten, aber jedenfalls bei geringeren Verhältnisse als ihr Umfang abnimmt, bei der Verdünnung die vermehrt (90.).

Dulong wurde durch Vergleichung der von ihm gewonnenen Resultate mit den von Delaröche und Berard ermittelten spec. Wärmen der Gase unter constantem Drucke (79.), ferner zu folgenden einfachen Gesetzen geleitet.

- 1) Dass alle Gase, wenn man bei gleicher Temperatur und unter gleichem Drucke ein gleiches Volumen von ihnen nimmt und plötzlich um einen bei allen gleichen Bruchwert dieses Volumens zusammendrückt oder ausdehnt, ein gleiche absolute Wärmemenge entwickeln oder verschlucken.
- 2) Dass die Temperatur-Änderungen, die daraus erfolgen sich umgekehrt wie die specifischen Wärmen bei constantem Volume verhalten.

Die spec. Wärme der Gase bei constantem Volume lässt sich zwar nicht direkt bestimmen. Aber, als wahr angenommen, dass aus jedem Gase, bei und unter 0,76 Metres Druck gemessen, durch gleich starke Verdichtung eine gleiche Menge von Wärme ausgepresst und dass die Temperatur der Luft bei Verdichtung von $\frac{1}{273}$ um $0^{\circ},421$ erhöht wird, folgt: dass die einfachen Gase bei welchen unter gleichen Umständen eine gleiche Erwärmung wie bei der Luft eintritt, dieselbe spec. Wärme bei constantem Volume, wie die Luft besitzen müssen. Kohlensäure wird durch Verdichtung von $\frac{1}{273}$ nur um $0^{\circ},337$ erwärmt, da aber gleichwohl, nach Annahme, die Wärmemenge $0,421$ ausgepresst wird, so muss ihre spec. Wärme bei constantem Volume sich zu derjenigen der Luft verhalten wie $0,421:0,337$; d. h. die der Luft zu 1 genommen, ist die

kohlensauren Gases $\frac{0,421}{0,337} = 1,294$. Auf ähnliche Art kann die spec. Wärmen bei constanten Volums anderer Gase bestimmt werden.

Addirt man zu der spec. Wärme eines Gases bei constantem Volume die $0,421$, und dividirt dann durch 1,421, so ergibt sich die spec. Wärme unter constantem Drucke, die der Luft wieder = 1 gesetzt. Die so für verschiedene berechneten Werthe stimmen mit den (von Delaröche und Berard) gefundenen spec. Wärmen bei constantem Drucke so nahe überein, dass die die Aufstellung der beiden vorerwähnten Gesetze gerechtfertigt wird. (Ann. 16. 471.)

Specifisches Gewicht der Gase. Wenn man eine el von wenigstens 5—6 Litre Inhalt, die sich mittelst eines ffdicht verschliessen lässt, mit ganz trockner Luft anfüllt iegt, dann den inneren Raum luftleer macht, so gibt der lerholter Wägung gefundene Gewichtsverlust (193) das des früheren Inhaltes an trockner Luft. Füllt man hierauf er abgewogene Kugel mit einem andern trocknen Gase, er nunmehr gefundene Gewichtsunterschied das Gewicht ichen Volums dieses anderen Gases. Indem man die auf Weise bestimmten Gewichte eines gleichen Volums verer Gase durch das entsprechende Gewicht der Luft diviilt man ihre specifischen Gewichte, bezogen auf die Luft it. Z. B. das Gewicht der Luft = 1 gesetzt, findet man

Sauerstoff	1,1026
Stickstoff	0,9760
Wasserstoff	0,0688
Kohlensäure	1,5245

e Zahlen gelten für jede Temperatur und für jeden Druck n die verschiedenen Gase gleichzeitig ausgesetzt sind, weil selben Ausdehnungs- und Verdichtungsgesetzen unterliegen. Dichtigkeitsverhältnisse der Gase unter einander lassen sich hn, ohne den Rauminhalt des Gefässes zu kennen, worinman gewogen hat. Soll aber die Dichtigkeit eines Gases, mit der ussers verglichen werden, oder will man das absolute Ge- lieses Gases erfahren, so muss der räumliche Inhalt der gel genau bekannt seyn. Indem man das Gewicht eines be- Gasvolums durch dasjenige eines gleichen Volums Was- idirt, erhält man das spec. Gewicht des ersteren bezogen Wasser als Einheit. So hat man gefunden, dass die Luft bei unter 336,9"" Druck 770mal leichter ist, als das Wasser, oder, selbe ausdrückt, dass 1000 C. C. Luft 1,2991 Grm. wiegen. erfahren, wie viel 1000 C. C. von irgend einem andern Gase multiplicirt man das durch Vergleichung mit der Luft ge- spec. Gewicht desselben mit 1,2991. Das Gewicht eines en Gasvolums ändert sich mit der Temperatur und mit dem ke. Das einem Thermometerstande T und Barometerstande örige Gewicht G kann mittelst der Formel:

$$\frac{(3 + T) 336,9}{273 B} g \text{ berechnet werden, wenn für } g \text{ das Ge-}$$

sselben Volums bei 0° und unter 336,9"" Druck gesetzt

maue Ermittlung des specifischen Gewichts eines Gases erfordert, dass i chemisch reinem und ganz trockenem Zustande abgewogen werde; ratur, bei welcher die Glaskugel damit angefüllt worden, so wie der müssen genau bekannt seyn. Da es unmöglich ist, ein Glasgefäss mit- uftpumpe ganz luftleer zu machen, so muss hierauf Rücksicht ge- xperimentalphysik.

nommen werden. Angenommen, die Luft im Innern der Glaskugel k_0 bis zu $2'''$ Spannkraft verdünnt werden; durch das eintretende troc werde diese Spannkraft wieder bis zu $335'''$ vermehrt, so kommt bei Rechnung des eingetretenen Gases nur $335 - 2 = 333'''$. Mehrere and richtigungen, wie die wegen des mit der Temperatur veränderlichen haltes des Glasgefäßes u. s. w., worüber man in Biot, traité de phys. I. Ausführlichere findet, sind weniger erheblich, und dürfen gewöhnlich un bleiben. Der Inhalt der Glaskugel wird entweder mit Quecksilber direk messen, oder durch Anfüllen mit chemisch reinem Wasser und Abwiegen b

Beispiel: Eine Glaskugel (A) bei $20,5^\circ$ und unter $0,755$ mtre Di trockner Luft (l) gefüllt, wog A + l = 567,1
Dieselbe Kugel mit reinem Wasser (w) von derselben
Temperatur gefüllt, wog A + w = 6133,
Dieselbe Kugel luftleer bis zu $0,005$ mtre Pressung, wog A + a = 561,
Nun ist der Unterschied der ersten und dritten Wägung $l - a = 6,6$
 $0,75 : 0,755 ; (198)$. Daher der ganze Inhalt an trockner Luft l = —

= 6,702 Grm. Das Gewicht des leeren Gefäßes A = 567,949 —
561,247 Grm. Das Gewicht des Wassers w = 6133,162 — 561,247 = 5571,
Ein Gramme Wasser bei $20,5^\circ$ ist 1,001698 C. C.; folglich der Inhalt de
ters 5571,915 . 1,001698 = 5581,375 C. C.

Man findet hieraus das Gewicht von 1000 C. C. Luft bei $20,5^\circ$ und 0,
 $6,702 \cdot 1000$
oder $g = \frac{5581,375}{1000}$

Das Gewicht desselben Volums Luft bei 0° und $0,76$ mtre erhäl mit Hülfe der oben angegebenen Formel $g = 1,2995$ Grm.

205. Man kann in vielen Fällen die Richtigkeit der Gas gen durch Rechnung controlliren. Diese Controlle gründet t folgende Erfahrungsgesetze:

- 1) Die specifischen Gewichte der einfachen Stoffe, wen in Gasform darstellbar sind, auf den Sauerstoff als bezogen (d. h. durch 1,1026 dividirt), sind den du chemische Analyse gefundenen Atomgewichten de Stoffe, ebenfalls auf den Sauerstoff als Einheit bezog weder gleich, oder stehen doch zu denselben in ein Zahlenverhältnissen. Indem man also umgekehrt da gewicht eines einfachen Gases mit 1,1026 (dem spe des Sauerstoffs) multiplicirt, muss eine Zahl gefund den, die entweder das gesuchte spec. Gew. selbst i die Hälfte davon, oder das Doppelte u. s. w.
- 2) Wenn sich gasförmige Körper verbinden und wen Verbindung wieder gasförmig ist, so ist das Volum selben entweder gleich der Summe der Volume der F theile, oder für den Fall, dass eine Verdichtung stattg hat, steht das Volumen der Verbindung zur Summe lume der Bestandtheile immer in einem ziemlich ei Zahlenverhältnisse.

Beispiele: Das specifische Gewicht des Chlorgases ist von Gay Lüs Thénard zu 2,47 gefunden worden. Sein durch chemische Untersucht weit grösserer Sicherheit festgestelltes Atomgewicht beträgt 2,213 Zahl mit 1,1026 multiplicirt, gibt 2,440 als das richtige specifische Gas

Das specifische Gewicht des Ammoniakgases nach der Wägung von Biot und Laplace ist 0,5967.

Dieses Gas ist zusammengesetzt aus 2 Vol. Stickstoff = $2 \cdot 0,9760 = 1,9520$
 und 6 „ Wasserst. = $6 \cdot 0,0688 = 0,4128$

Die Summe dieser beiden Bestandtheile 2,3648
 mit 4 dividirt, gibt 0,5912; woraus man sieht, dass die 8 Gasvolumen sich zu 4 Volumen Ammoniak verbunden haben müssen, und dass das richtigere specifische Gewicht dieses Gases 0,5912 beträgt.

Durch diese Controll-Rechnung wird man also in den Stand gesetzt, auch fast nähernd richtigen Wägungsversuchen das wahre spec. Gewicht eines Gases abzuleiten.

206. Die ungleiche Dichtigkeit verschiedener Gase unter gleichem äusseren Drucke (oder bei gleicher Spannkraft, die sie selbst ausüben), beweist eine ungleiche Expansivkraft ihrer kleinsten Theile. Die Atome des Wasserstoffs z. B. besitzen ein 16mal so grosses wechselseitiges Abstossungsvermögen als die Atome des 16mal dichteren Sauerstoffs; oder bei gleicher Dichtigkeit ist die Spannkraft des ersteren Gases die 16fache von derjenigen des letzteren. Das Verhältniss der Expansivkraft der kleinsten Theile verschiedenartiger Gase wird specifische Expansivkraft oder specifische Elasticität genannt. Es ist einleuchtend, dass die spec. Elasticitäten zweier Gase sich verkehrt wie ihre spec. Gewichte bei gleicher Temperatur und unter gleichem Drucke verhalten.

Temperatur-Erhöhung vermehrt die specifische Elasticität eines Gases, durch Abkühlung wird sie vermindert.

207. Die Körper verlieren in der Luft, gleich wie in jeder schwereren Flüssigkeit, einen Theil ihres Gewichtes, und zwar genau so viel, als die verdrängte Luft wiegt. Hat man z. B. eine zugeschmolzene Glasblase von 3 — 4 Zoll Durchmesser an einer kleinen, aber empfindlichen Wage ins Gleichgewicht gebracht und setzt sie dann auf der kleinen Wage unter den Recipienten der Luftpumpe, so wird während des Auspumpens auf der Seite der Blase ein Auswärtigwerden entstehen. Lässt man die Luft wieder zu, so stellt sich auch das Gleichgewicht wieder her.

Um das wahre Gewicht eines Körpers zu erhalten, muss daher das scheinbare Gewicht, so wie es in der Luft gefunden ist, mit dem Gewichte eines gleichen Volums Luft hinzugefügt werden. Da diese Correction grösser bei den specifisch leichten Körpern verhältnissmässig am meisten ausmacht, so können die spec. Gewichte der Körper keine ganz richtige Vergleichung ihrer wahren Gewichte geben, wenn sie nicht auf den Gewichtsverlust in der Luft reducirt (178).

Bei unseren Wägungsversuchen befinden sich zwar die Gewichte eben so wohl wie die zu wägenden Stoffe in der Luft; doch unsere Gewichtseinheiten ganz willkürlich angenommenen Grössen sind, so kommt der Gewichtsverlust der Gewichts-

steine in der Luft selten in Betracht; ja er würde ganz und ohne Einfluss seyn, wenn die Luft stets einerlei Dichte besäße.

Man nenne G das Gewicht eines Körpers in der Luft, G' sein Gewicht im Wasser; l das Gewicht eines gleichen Volums Luft von der Dichtigkeit δ ; w das Gewicht eines gleichen Volums Wasser. Der Unterschied $G - G'$ gibt nicht wahren Gewichtsverlust im Wasser (w), sondern diesen Verlust, weniger δ der Luft, d. h. $w - l$.

Man findet aber w durch die Betrachtung: dass $G - G'$ sich zu w verhält wie der Unterschied der Dichtigkeiten des Wassers und der Luft, zur Dichtigkeit des Wassers. Daher $w = \frac{G - G'}{1 - \delta}$

Ebenso findet man l aus der Proportion $(1 - \delta) : \delta = G - G' : l$ $l = \frac{(G - G')\delta}{1 - \delta}$

Das wahre specifische Gewicht eines Körpers ist dann $\frac{G + l}{w}$ oder $\frac{G}{w - l}$

Auf ähnliche Weise lässt sich der wahre Inhalt von Gefässen, die nicht luftdicht abgewogen werden können, durch Rechnung bestimmen. Z. B. ein Glasgefäss mit Luft gefüllt, wog $G = 35,234$ Grm., dasselbe mit reinem Wasser gefüllt, $G' = 256,143$ Grm. Das wahre Gewicht des enthaltenen Wassers ist dann nach $w = \frac{256,143 - 35,234}{1 - \frac{1}{770}} = \frac{220,909.770}{769} = 221,196$.

Auf dem Gewichtsverluste der Körper in der Luft beruht Otto von Guericke's Luftwaage (von ihm selbst Manometer genannt), ein Instrument, das bestimmt ist, Aenderungen in der Dichtigkeit der atmosphärischen Luft zu messen. Es besteht aus einer grossen verschlossenen Glaskugel, die an einem empfindlichen Wagebalkens angehängt ist und mittelst eines Gegengewichtes im Gleichgewichte steht (Gehl. 6. 1198.).

208. Körper welche leichter sind als die Luft werden in demselben durch eine Kraft aufwärts getrieben, welche gleich ist dem Unterschiede ihres eignen Gewichtes und dem der verdrängten Luft (176). Aufsteigen erwärmter Luft, des Rauchs; Luftschiffahrt.

Der Luftballon (Aërostat) besteht im Wesentlichen aus einer nahe kugelförmigen, sehr leichten, luftdichten Hülle (gewöhnlich Goldschlägerhaut oder ganz kleinen, gefirnisseten Taffet für die grösseren Aërostaten), die mit Gasen von geringerer Dichtigkeit als die atmosphärische Luft gefüllt ist. Den zur Luftschiffahrt (Aëronautik) bestimmten Aërostaten ist diese Hülle einem Netze von Schnüren umgeben, welche unten in eine Anzahl Stränge laufen, woran eine sehr leichte Gondel befestigt ist. Die Steigkraft des Luftballons wurde zuerst durch Erwärmung der inneren Luft bewirkt. Man hat aber bald vortheilhafter, den inneren Raum mit Wasserstoffgas zu füllen. Dings hat Green in London das durch Destillation der Steinkohlen gewonnene Kohlenwasserstoffgas hierzu verwendet.

Die festen Theile des Luftballons sind zwar weit schwerer als die atmosphärische Luft; da jedoch die Räume zweier Kugeln im Verhältnisse der dritten ihrer Durchmesser, ihre Oberflächen nur im Verhältnisse der Quadrate der Durchmesser stehen, so kommt man durch Vergrösserung der Dimensionen zu einem Verhältnisse, wobei das Gewicht des Ballons sammt dem des eingeschlossenen Gases weniger beträgt, als dasjenige der verdrängten Luft.

Das zum Füllen der Aërostaten verwendete Wasserstoffgas lässt sich in grosser Menge nicht in reinem Zustande gewinnen. Man schätzt seine Dichtigkeit zu $\frac{1}{2}$ von derjenigen der Luft. Nimmt man nun den K. F. Luft zu 42, also den K. F. Wasserstoffgas zu 6 Grm., so lassen sich, da ein Q. F. der

Nett 22,5 Grm. wiegt, für die mit Wasserstoffgas gefüllten Luftbälle die Verhältnisse berechnen.

Wasser alle von Seidenzeug.	Gewicht	Gewicht des enthal- tenen Wasserstoffgases	Steigkraft.
F.	70,65 Grm.	3,14 Grm.	— 51,8 Grm.
„	7 Kilogr.	3,14 Kilogr.	+ 11,76 Kilogr.
„	44 „	49 „	250 „
„	176 „	392 „	2177 „
„	706 „	3138 „	18122 „

mit Kohlenwasserstoffgas gefüllten Luftballons soll die Steigkraft weit weniger betragen als bei der Anfüllung mit Wasserstoffgas.

Die Luftschiffahrt bestimmten Aërostaten werden nur zu $\frac{1}{4}$ ihres wirklichen mit Gas gefüllt, weil wegen des in der Höhe abnehmenden Luftinnere Volum sich vergrößern muss. Ueberdies befindet sich am oberen Ende eine Klappe, welche durch eine Feder zugehalten wird, mittelst eines sehr feinen herabreichenden Fadens aber geöffnet werden kann, so oft während des Aufsteigens in Folge zu starken Anschwellens des Ballons ein Zerbrechen derselben zu befürchten steht. Diese Klappe dient auch zur Regulirung der Steigkraft, denn sobald man sie öffnet, wird durch das entweichende Gas relativ schwerer und beginnt zu sinken. Um ihn wieder zum Steigen zu erleichtern man ihn durch Auswerfen von Ballast, z. B. von Sand, zu diesem Zwecke mitgenommen wird. Es ist noch nicht gelungen, die horizontale Bewegung des Luftballons zu beherrschen bis jetzt so ziemlich von der Richtung des Windes abhängt, und er eine sehr grosse Geschwindigkeit besitzt. Ein im Jahr 1804 zu Paris aufgestiegener Ballon fiel nach 12 Stunden bei Halle nieder; ein anderer im demselben Jahre zu Paris erhob, sank nach 22 Stunden un-

ter. Die Luftschiffe liessen die Gebrüder Stephan und Joseph Montgolfier am 5. Juni 1783 bei Annonay steigen, in dem sie die Luft in dem innern Korb mit Papier gefüllten; daher der Name Montgolfière. Am 15. October desselben Jahres stieg der Pilotre de Rozier in einer Montgolfière zum erstenmal in die Höhe. Die ersten wissenschaftlichen Ausbeute merkwürdigsten sind die am 24. August 1804 von Biot und Gay-Lüssac gemeinsam und am darauf folgenden 16. September von Gay-Lüssac allein in der Höhe (Gehler's Wörterb. I. S. 510).

Die Luftschiffe steigen erwärmt und dadurch ausgedehnter Luft in der kälteren Luftmassen, selbst von bedeutendem Umfange, ungeachtet ihres geringen Leitvermögens sich ziemlich schnell erwärmen lassen, wenn die Sonne unten einwirkt.

In den erwärmten Räumen, z. B. in unseren Wohnzimmern im Winter, steigt die obersten Luftschichten die höchste Temperatur, und diese erhellt allmählig nach dem Boden hin. Der Grund ist, weil die durch den Ofen erhitzte Luft, sobald sie sich in die Höhe hebt, an der Decke des Zimmers entlang über die darunter befindliche weiche Luftschicht ausbreitet, während die durch Berührung mit den kalten Wänden abgekühlte Luft sogleich niederfällt und über den Boden hinfließt. Um die Luft in einem Zimmer durchzuwärmen, muss daher von dem Ofen warme Luft in solcher Menge aufsteigen, und sich an der Decke hin ausbreiten, dass die zuerst aufgestiegenen Mengen, durch den Ofen und über sie hinströmenden, genöthigt werden sich zu senken, und den grossen Theil der an sie übergegangenen Wärme an die kältere Luft abzugeben vermögen.

Die Temperatur eines erwärmten Zimmers gleichförmig zu erhalten, ist die Aufgabe der Heizung, dass fortwährend von dem Ofen so viel warme Luft sich er-

hebt, als kalte an den Wänden niedersinkt. Man sieht leicht, dass diese ft dauernde Circulation um so vollständiger eintreten und sich über alle Luft Zimmer bis auf die tiefsten Schichten erstrecken muss, je näher am Boden Erwärmung vor sich geht.

Die Erwärmung der äusseren atmosphärischen Luft geschieht zwar nicht ausschliesslich, aber doch hauptsächlich durch die Berührung mit der durch Sonnenstrahlen erwärmten Erdoberfläche. Da nun die Erde nicht überall auch an demselben Orte nicht zu jeder Zeit eine gleiche Temperatur besitzt müssen in der Atmosphäre ähnliche Luftströmungen entstehen, wie in dem Zimmer unter dem Einflusse der Ofenwärme. Die Winde, insbesondere die regelmässigen Winde verdanken wesentlich solchen Ursachen ihre Entstehung.

Die Erfahrung lehrt, dass die Wärme der Erdoberfläche durch die aufsteigende Luft zu sehr beträchtlichen Höhen geführt wird. Da jedoch die Luft, während sie sich erhebt, wegen des in den höhern Schichten der Atmosphäre verminderten Drucks, allmählig ihr Volum vergrössern, also einen Theil ihrer ft Wärme binden muss, so ergibt sich als nothwendige Folge, nach oben hin eine allmähliche Abnahme der Temperatur.

Es sey B der Barometerstand, T° die Temperatur der Luft an der Erdoberfläche. Diese Luft werde, indem sie bis zu einer Höhe steigt, in welcher die Spannung b herrschend ist, bis zu t° abgekühlt. Nun nimmt ein Volum Luft bei T° wenn die Temperatur t° wird, $1,421 t$ und wenn die Temperatur T° wird, $1,421 T$ Wärme auf, die spezifische Wärme bei constantem Volume gleich 1 gesetzt ist. Die in Folge einer Volums-Erweiterung eingetretene Temperatur-Erniedrigung von T° zu t° , entspricht also einer Quantität gebundenen Wärme $1,421 (T - t)$.

Wenn die Volums-Einheit, bei 0° und unter $336,9''$ Druck gemessen, der veränderten Temperatur T° und dem Druck B ausgesetzt wird, vermindert sich das Volum l in $\frac{(273 + T) 336,9}{273 \cdot B}$; die Umfangersvergrösserung ist folglich $\frac{(273 + T) 336,9 - 273 B}{273 \cdot B}$; die derselben entsprechende Ausdehnungswärme

hält die Luft bei dem an der Erdoberfläche herrschenden Barometerstande B der herrschenden Temperatur T° bereits gebunden.

Der Luftdruck soll aber in einer gewissen Höhe, nach Annahme bis zu sinken, und dadurch die Temperatur t° entstehen; die entsprechende Erweiterung des Volums l ist $\frac{(273 + t) 336,9 - 273 \cdot b}{273 \cdot b}$. Da nun die Luft einen Theil der

diese Volumsvergrösserung nöthigen Ausdehnungswärme bereits enthält kann die Abkühlung von T° zu t° und die Bindung der Wärmemenge $1,421 (T - t)$ nur von dem Unterschiede beider Vergrösserungen des Volums l abhängig seyn.

Setzt man diesen Unterschied $= \frac{n}{273}$ des Umfangs der Luft bei 0° und $336,9''$ Druck, so lässt sich die während der Temperatur-Erniedrigung t Ausdehnung gebundene Wärme auch durch $0,421 n$ bezeichnen. Es ist daher $1,421 (T - t) = 0,421 \left(\frac{(273 + t) 336,9 - 273 b}{b} - \frac{(273 + T) 336,9 - 273 B}{B} \right)$

Gleichung, woraus sich die durch die Erhebung warmer Luft erniedrigte Temperatur t derselben leicht berechnen lässt.

Beispiele: Es sey $B = 336,9$; $T = 15$; $b = 321''$ so findet man $t = 15$; $b = 228$ so findet man $t = 15$.

Diese Temperatur-Erniedrigungen müssten eintreten, wenn die Luft trocken wäre und ausschliesslich nur durch Berührung mit der Erde erwärmt würde.

209. Höhenmessen mit dem Barometer. Auf die Abnahme des Barometerstandes bei zunehmender Höhe des Beobachtungs-

es gründet sich das Höhenmessen mit dem Barometer. Die Dichtigkeit, trockner Luft bei 0° und unter $336,9''$ Druck verhält sich zu des Quecksilbers bei 0° wie $1 : 10467$, oder wenn die Luft irgend

andere Temperatur t° besitzt, wie $1 : \frac{10467(273+t)}{273}$ Hier-

ist z. B. der Druck einer Quecksilbersäule von 1 Linie Höhe sich dem einer Luftsäule von 76,7 Fuss bei 15° mittlerer Temperatur. Fände man daher, dass an einem oberen Beobachtungsorte ein Barometer um 1 Linie tiefer steht, als am unteren, so würde der Höhenunterschied beider Stationen 76,7 Fuss betragen müssen. In ähnlicher Weise würde man aus dem Unterschiede zweier gleichzeitig beobachteten Barometerstände den senkrechten Höhenunterschied der beiden Beobachtungsorte durch eine ganz einfache Rechnung ableiten können, wenn die Atmosphäre überall gleiche Dichtigkeit besässe. Da aber diess nicht der Fall ist, da z. B. eine Senkung von 10 Linien Quecksilber einer grösseren Erhebung als der 10mal 76,7 Fuss Luft entspricht, so müssen wir vorerst untersuchen, nach welchem Gesetze die Quecksilbersäule des Barometers bei zunehmender Höhe des Beobachtungsortes sich erniedrigt.

Man denke sich zu diesem Zwecke die Atmosphäre in eine Anzahl gleich hoher über einander liegender Schichten abgetheilt. Die Dichtigkeit der Luft ändert sich von einer Schicht zur andern; innerhalb der Gränzen jeder einzelnen kann sie aber überall als gleich vorausgesetzt werden, sobald man nur ihre Höhe sehr gering annimmt. Diese Höhe sey: $h = \frac{\alpha}{\delta}$, wo α eine sehr kleine

Quecksilberhöhe (z. B. von $0,01''$) vorstellt, um welche sich der Barometerstand von $336,9''$ erniedrigt, wenn das Instrument, bei Lufttemperatur auf die Höhe h getragen wird; δ bezeichnet die Dichtigkeit der Luft bei t° und unter $336,9''$ Druck. Bei irgend einem andern Barometerstande b , aber sonst gleichen Umständen, wird das Gewicht derselben Luftpöhe h dem einer kleinen Quecksil-

säule von $\frac{\alpha b}{336,9}$ Linien gleich seyn; denn die Gewichte gleicher Säulen (gleich hoher Luftsäulen) verhalten sich wie die Barometerstände. Es seyen nun b^i ; b^{ii} ; b^{iii} ; b^{iv} . . . b^n die Barometerstände je am Anfange der auf einander folgenden gleich hohen Schichten. Das Gewicht der ersten Schicht ist $\frac{\alpha b^i}{336,9}$, daher

$$b^i \left(1 - \frac{\alpha}{336,9} \right)$$

Das Gewicht der zweiten Schicht ist $\frac{\alpha b^{ii}}{336,9} = \frac{\alpha b^i}{336,9} \left(1 - \frac{\alpha}{336,9} \right)$

$$\text{Daher } b''' = b' \left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right) \left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right) = b' \left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right)^2$$

$$\text{Das Gewicht der dritten Schicht ist } \frac{\alpha b'''}{336,9} = \frac{\alpha b'}{336,9} \left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right)^2$$

$$\text{Daher } b'' = b' \left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right)^2 \left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right) = b' \left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right)^3$$

Man sieht deutlich, dass die auf einander folgenden Barometerstände eine fallende geometrische Reihe bilden, deren Coefficient die Grösse $1 - \frac{\alpha}{336,9} = \frac{336,9 - \alpha}{336,9}$ ist.

Es ergibt sich daher der Barometerstand am Anfange irgend einer n^{ten} Schicht $b^n = b' \left(\frac{336,9 - \alpha}{336,9}\right)^{n-1}$.

Dem Unterschiede dieser beiden Barometerstände entspricht der Druck von $n-1$ Luftschichten, oder die Lufthöhe $H = (n-1)h$. Nun für $\alpha = 0,01$ u. $\delta = \frac{273}{10467(273+t)}$ folgt: $h = \frac{0,01(273+t)10467}{273}$

da ferner $n-1 = \frac{\log b' - \log b^n}{\log 336,9 - \log(336,9 - \alpha)} = 77574 \log \frac{b'}{b^n}$ so findet man den Höhen-Unterschied der beiden Stationen, an welchen die Barometerstände b' und b^n beobachtet worden sind in Pariser Fussen ausgedrückt:

$$H = \frac{0,01(273+t)10467}{273 \cdot 144} \times 77574 \log \frac{b'}{b^n}$$

$$= 206,545 (273 + t) \log \frac{b'}{b^n}$$

Der Gebrauch dieser Formel setzt voraus, dass die Barometerstände b' und b^n auf 0° reducirt sind, und dass für t die mittlere Temperatur der Luftsäule H gesetzt werde. Das Mittel der Lufttemperatur an der oberen und unteren Station betrachtet man gewöhnlich als genügenden Annäherungswerth für t .

Beispiel: Im August 1805 beobachteten Humboldt, Buch und Gay-Lussac auf dem Vesuve, am höchsten Rande des Kraters, bei $14,4^\circ$ Lufttemperatur Barometerstand von 293,9'''. Gleichzeitig war zu Portici, 7 Toisen über Meere, der Barometerstand von 337''' bei 22° Lufttemperatur beobachtet worden.

Es ist in diesem Falle $b' = 335,68$; $b^n = 293,11$; $t = \frac{22 + 14,4}{2} = 18,2$; $H = 3539,7$ Par. Fuss.

Es lassen sich bei der Höhenmessformel einige Verbesserungen anbringen durch Berücksichtigung des Einflusses der Luftfeuchtigkeit, so wie der abnehmenden Schwere der Luft bei vertikaler Erhebung, und ihrer zunehmenden Schwere bei zunehmender Breite des Beobachtungsortes. Diese Verbesserungen

meistens von viel geringerer Bedeutung als die unvermeidlichen Fehler.

sche Höhenmessungen, um Anspruch auf Genauigkeit machen zu können grosse Umsicht und Uebung, und namentlich auch eine reichliche Zeit. Bei regnerischer Witterung, bei stark bewegter Luft ist leicht brauchbare Beobachtungen erhalten. — Das Instrument endlich, ist das Erforderliche bereits Seite 120 bemerkt worden. Hinsichtlich der Bequemlichkeit im Gebrauche auf grösseren Reisen eignet sich das anerkannteste Barometer vorzugsweise (Handw. d. Ch. u. Ph. I, S. 683). Das bequemere zu transportiren ist das sogenannte Differentialbarometer, welche dasselbe neuerdings von Kopp erhalten hat (ibid., S. 513.)

Das Instrument, dessen erster Erfinder August ist, gibt jedoch den Barometerstand unmittelbar durch die Beobachtung, sondern erfordert stets ein Experimentes. In der Hand des Geübten kann es gleichwohl leicht in den meisten Fällen hinlängliche Genauigkeit gewähren.

Bewegungsgesetze flüssiger Körper.

Die Flüssigkeiten sind zwar im Allgemeinen denselben Bewegungsgesetzen wie die festen Körper unterworfen. Da aber in Folge der ihnen eigenthümlichen Beweglichkeit dem äusseren Drucke nach jeder Richtung mit gleicher Leichtigkeit ausweichen können, so ergeben sich gewisse, den Flüssigkeiten eigenthümliche, wenn auch von den allgemeinen Bewegungsgesetzen abhängige Bewegungs-Erscheinungen. Diese Erscheinungen sind es, um deren Darstellung es sich jetzt handelt.

Ausfluss tropfbarer Flüssigkeiten aus Behältern.

Die tropfbar flüssigen Flüssigkeiten ergiessen sich durch Oeffnungen einer bestimmten Form und Grösse, die man an dem Boden oder den Seitenwänden der Behälter anbringt. Die Ursache des Ausflusses ist die durch die Fläche der Oeffnung wirkende hydrostatische Druckkraft. In Oeffnungen von gleichem Quadratinhalte, die in gleicher Tiefe desselben Behälters eingeschnitten sind und deren Schwerpunkte sich in gleicher Tiefe unter dem Spiegel des Wassers befinden, strömen in gleicher Zeit gleiche Wassermengen aus. Das Ergebniss der Erfahrung erklärt sich leicht dadurch, dass unter den erwähnten Bedingungen stattfinden, auf jede Oeffnung derselbe Druck wirksam ist.

Man pflegt über den Ausfluss des Wassers in Oeffnungen an den Seitenwänden anzubringen. Die aus solchen Versuchen gezogenen Schlüsse können gleichwohl eine ganz allgemeine Geltung haben. In Oeffnungen von ungleichem Quadratinhalte, die in gleicher Tiefe ihrer Schwerpunkte unter dem Spiegel des Wassers angebracht sind, ergiessen sich ungleiche Wassermengen, die sich verhalten wie die Quadrate der Oeffnungen.

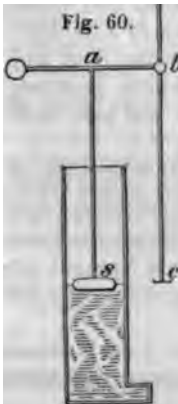
Bei zunehmender Tiefe der Oeffnung unter dem Spiegel des Wassers nimmt auch die Ausflussmenge zu, und zwar verhalten

sich für verschiedene Tiefen die Ausflussmengen für die Quadratwurzeln aus den lothrechten Entfernungspunctes der Oeffnung unter dem Spiegel, oder, was wie die Quadratwurzeln aus den Druckhöhen.

Man muss hieraus schliessen, dass auch die Geschwindigkeiten sich wie die Wurzeln aus den Höhen verhalten. Um z. B. bei übrigens gleich Bewegung eine doppelte Ausflussmenge, also eine doppelte Geschwindigkeit zu erzielen, wird eine vierfache Wasser-Druckhöhe erforderlich.

Dieser Schluss wird durch die beiden folgenden Thesen gerechtfertigt: 1) Man gebe dem ausfliessenden Wasser eine senkrecht aufwärts gehende Richtung, er wird, wie ein in der ersten Aufspringen, fast bis zur Höhe des Spiegel bedürfen senkrecht aufsteigende Körper, um eine gewisse Höhe zu erreichen, einer Anfangsgeschwindigkeit gleich, welche so gross ist wie diejenige, welche sie beim Fallen von der Höhe herab erreicht haben würden (112); die Geschwindigkeit des austretenden Wasserstrahls muss so gross seyn, wie wenn jeder Theil desselben vom Spiegel herab gefallen wäre; d. h. diese Geschwindigkeit muss proportional seyn der Quadratwurzel aus der Höhe.

2) Ein wagerecht ausfliessender Strahl senkt sich dem er die Oeffnung verlassen hat, nach demselben Gesetze wie ein frei fallende Körper, ohne dadurch von seiner Geschwindigkeit einzubüssen (155). Die Ausflussgeschwindigkeit muss sich daher bestimmen lassen, indem man die Tiefe, in der der Strahl um eine gewisse Tiefe in der Luft sich gesenkt hat, nach den gewöhnlichen Fallgesetzen (108) und den gefundenen Werth in den gleichzeitig wagerechten Weg dividirt. Die auf diese Weise gefundenen Geschwindigkeiten verhalten sich falls wie die Wurzeln aus den Druckhöhen.



Um die Ausflussgesetze des Wassers zu erläutern, eignet sich als Behälter ein Kasten von etwa 3 Fuss Höhe und 8 bis 12 Zoll Weite, welcher mit Wasser gefüllt ist und sich unten in seiner ganzen Breite durch einen 4 Zoll hervorstehenden Ansatz erweitert. Die innere Oberfläche dieses Ansatzes kann eine dünne Scheibe eingeschoben werden; ein ähnlicher Schieber an der senkrechten Vorderwand des Ansatzes von beliebiger Weite sind entweder unmittelbar in Messingplatten eingeschnitten oder können durch Messingmündstücke eingeschraubt werden. Den Wasserstand im Behälter beobachtet man mittelst eines durch einen lackirten Holz- oder Messingblech angebrachten dünnen Stange *s a* von der Höhe des Behälters bis zum oberem Ende eine ähnliche Stange rechtwinklig ist, in einem Einschnitte der letzteren bei *b c* auf und nieder verschiebbar und kann so gestellt werden, dass die dünne Scheibe *d* desselben die Höhe des Spiegels zeigt.

wann das Wasser durch eine Oeffnung von nicht weniger als 2—3 Linien treten, welche in den wagrechten Schieber eingeschnitten ist, so erlohtrecht aufsteigende Strahl zwar niemals die in die Höhe des Spiegels Scheibe c, allein sein Zurückbleiben beträgt wenigstens beim springen nicht viel mehr als 1 Procent der jedesmaligen Druckhöhe; ein d, der ohne Bedenken dem Einflusse der unvermeidlichen Bewegungen beigemessen werden darf. Bei der Fortdauer des Versuches erhält sich die Höhe, wegen des zurückfallenden Wassers, nicht constant, und bleibt eben Grunde immer beträchtlich unter der Höhe des Spiegels zurück. lothrechten Sprunghöhe des Wassers hat Toricelli zuerst die wahre Ausflussgeschwindigkeit abgeleitet.

Nach Beobachtung gefundene Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers bei gehöriger Berücksichtigung der allgemeinen Fallgesetze auf die Weise erklären. So oft nämlich eine, wenn auch noch so klein gemessene Menge, z. B. $\frac{1}{n}$ der über der Oeffnung stehenden flüssigen Säule

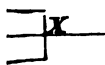
entfällt, hat sich die letztere in der Richtung der Schwere um $\frac{1}{9}$ ihrer Höhe vermindern müssen; es ist also ein Bewegungseffect verwendet worden, dessen Gewicht $\left(G \cdot \frac{1}{n} H \right)$ erhalten wird, indem man das Gewicht der auf die

Oeffnung drückenden Wassersäule (G) mit dem Wege $\left(\frac{1}{n} H \right)$ multipliziert. Diese zurückerlegene Strecke muss die eines Gewichtes $\frac{1}{n} G$, das von der ganzen Druckhöhe H herab-

fällt (120); jedes ausfließende Wassertheilchen muss folglich eine Geschwindigkeit annehmen, welche gleich derjenigen eines frei fallenden Körpers durch die Formel $v = \sqrt{2ch}$ ausgedrückt werden kann (108), insofern nicht

sonst ein Theil des bezeichneten Bewegungseffectes aufgezehrt wird. Es ist übrigens einleuchtend, dass das Wasser die Geschwindigkeit, womit es nicht plötzlich (113), sondern nur durch allmählichen Zuwachs erlangt, dass die flüssigen Theile während dieser Zeit und unter dem Einflusse der anhaltenden Drucks eine gewisse Strecke Wegs mit beschleunigter Bewegung zurückerlegen müssen. Demnach besitzen die bereits in den Bewegungen ergegangenen, auf einander folgenden und mit der Fläche der Oeffnungen Wasser-schichten sehr ungleiche Geschwindigkeiten; sie müssten sich von einander trennen, und der Druck des fast ruhenden Wassers im Hinteren würde sich nicht durch die ganze Reihe fortpflanzen, wenn nicht die Masse, als ihre Geschwindigkeit sich vermehrt, an Flächen zunimmt und dadurch wieder an Dicke zunehmen könnten. Man sieht

hieraus, dass für die Bedingung eines ganz gleichförmig fortwirkenden Drucks der über der Oeffnung stehenden flüssigen Säule H, diese Oeffnung, oder eigentlich derjenige Theil des Behälters, worin die Bewegung der Wassertheile beschleunigt wird, eine gewisse Länge und eine von Innen nach Aussen abnehmende Weite haben muss. Die Gesetze der gleichförmig beschleunigten Bewegung lehren, dass obiger Bedingung genügt werden kann, wenn der Behälter in ein Mundstück, wie Fig. 61, ausgeht, dessen Gestalt aus der Gleichung $x y^2 = a^3$ abgeleitet wird. Die Linie Y Y' bedeutet die ebne Wandfläche des Behälters, die Linie A X (die Axe der Oeffnung) zeigt die Richtung an, nach welcher die parallelen Wasser-schichten mit beschleunigter Bewegung fortschreiten; x bezeich-



g. 16.

net den Weg, den eine beliebige dieser Schichten bereits zurückgelegt den zugehörigen Querschnitt des Mundstücks. Die Querschnitte des Mund an verschiedenen Stellen verhalten sich nämlich umgekehrt, wie die Geschwindigkeiten von denselben Stellen. Hiernach nun lässt sich die Gestalt des leicht bestimmen. Man findet, dass es nach vorne hin schon in der Entfernung $x = 2 a$ fast cylindrisch wird, dass folglich in derselben Entfernung das Wasser eine beinahe schon gleichförmige Geschwindigkeit angenommen hat. Macht man das Mundstück nicht länger, so wird die Flüssigkeit noch fast mit der Geschwindigkeit $V = \sqrt{2 c H}$ anstreten, innerhalb ab sie sich mit gleichförmig zunehmender Geschwindigkeit bewegen und beschleunigt durch jeden Querschnitt gleichzeitig stets eine gleiche Menge strömt. Da die innere Leere des Mundstücks (Fig. 61) genau so gestaltet ist, dass Wasser für die Bedingung einer gleichförmig beschleunigten Bewegung zusammenziehen (contrahiren) muss, so kann man ihm den Namen geben: *Contraction nach der Gestalt der Zusammenziehung des Wasserstrahls*.

215. Durch Oeffnungen oder Mundstücke von verschiedener Gestalt ergiessen sich unter übrigens gleichen Umständen gleiche Wassermengen.

Ist die Oeffnung nach der Gestalt der Zusammenziehung gestaltet, so wird die Ausflussmenge für eine Sekunde Zeit gefunden, indem man den Flächeninhalt der äussersten Ausmündung (der Ausflussgeschwindigkeit $(V = \sqrt{2 c H})$ und das so erhaltene Product wieder mit der Zahl 0,98 multiplicirt. Bei dieser Reduktion betrachtet man den ausfliessenden Strahl als einen Cylinder als ein Prisma von der Länge V , welcher die Ausmündung Grundfläche hat. Dass 2 Procent weniger ausströmt, als man vorstellen würde, rührt hauptsächlich von der Reibung an den Wänden des Mundstücks, so wie durch unvollkommene Beweglichkeit der Wände selbst etwas vermindert wird. Den Ausdruck: $f \sqrt{2 c H}$ pflegt man die theoretische Ausflussmenge zu nennen; ein Coefficient (in unserem Falle 0,98), womit man diesen Ausdruck zu multipliciren hat, um die wirkliche Ausflussmenge zu finden, heisst *Ausflusscoefficient*.

Wenn die Ausflussöffnung unmittelbar in eine ebene Wand eingeschnitten ist, deren Dicke weniger als die Hälfte des Durchmessers der Oeffnung beträgt, so bemerkt man sogleich die letztere während des Ausflusses nicht ganz angefüllt; dass der Strahl vom inneren Rande nach Aussen sich conisch zusammenzieht, dergestalt dass in einer Entfernung vom Rande, die beiläufig halb so gross ist als die Weite der Oeffnung sein Durchmesser nur 0,8 von dem der letzteren beträgt. (Elongation der Zusammenziehung oder Contraction des Strahls hier ausserhalb dann der Oeffnung, wenn die Oeffnung kreisförmig eine fast cylindrische Gestalt. Der Ausflusscoefficient für Oeffnungen in dünnen Wänden ist, wenn der Durchmesser unter 5 Linien beträgt, 0,64, sinkt aber bei weiteren Oeffnungen bis zu 0,6 (Weisbach). Er ist, wie die Erfahrung lehrt, auch mit der

höhe veränderlich, so dass er bei Anwendung enger Oeffnungen und sehr geringer Druckhöhen bis zu 0,69 anwachsen kann.

Das Phänomen der Contraction beginnt bereits hinter der Oeffnung, wie man bei Anwendung von Glasbehältern und schwach getrübttem Wasser sehr deutlich wahrnehmen kann. Der Grund ist: weil die der Oeffnung zueilenden flüssigen Theile nach zwei Richtungen in Bewegung gesetzt werden müssen, nämlich einmal gleichlaufend mit der Axe der Oeffnung, zweitens winkelrecht gegen diese Axe. Die erste dieser Bewegungen, bei fortwirkender bewegender Kraft mehr und mehr beschleunigt, wächst endlich zur Ausflussgeschwindigkeit an, während die letztere nur dient, um die Lücken, welche wegen der beschleunigten Bewegung zwischen den hinter einander folgenden parallelen Schichten entstehen müssten, auszufüllen (214). Die Seitenbewegung der flüssigen Theile ist sichtbar bis zum Rande der Oeffnung, und kann folglich ausserhalb nicht plötzlich aufhören; sie ist die Ursache, dass der Strahl auch vor der Oeffnung fortschreitet, sich zusammenzuziehen, d. h. seinen Durchmesser zu vermindern, und dass also seine grösste Geschwindigkeit erst eine kleine Strecke ausserhalb gewinnt.

Wenn in der Behälterwand zwei Oeffnungen nahe bei einander angebracht sind, so wird die Seitenbewegung (nämlich die Bewegung winkelrecht gegen die Axe der Oeffnung) zwischen beiden begreiflicher Weise verringert, und es muss ein Uebergewicht des Seitendrucks von den entgegengesetzten Seiten entstehen. Daher kommt es, dass die Richtungen beider Strahlen ausserhalb des Behälters nicht parallel laufen, sondern einen Winkel mit einander bilden. Schliesst man die eine Oeffnung, so wird der aus der andern tretende Strahl sogleich von der früheren Richtung abgelenkt und fliesst fortan gleichlaufend mit der Axe seiner Oeffnung.

Gibt man der Ausflussöffnung die Gestalt eines kurzen cylindrischen oder prismatischen Rohrs, ist sie z. B. in eine Gefässwand eingebohrt, deren Dicke so gross oder nicht viel grösser ist, als der Durchmesser der Oeffnung, so strömt das Wasser bei raschem Ausziehen des Stöpsels, der die Mündung schliesst, ganz so wie durch eine Oeffnung in dünner Wand. Hatte man das Rohr nur mit dem Finger geschlossen, so dass es sich bereits vor dem Beginne des Ausflusses anfüllen konnte, oder beträgt die Länge desselben wenigstens das Drei- bis Vierfache des Durchmessers, so wird das Wasser durch die Adhäsion der Röhrenwand genöthigt, an dieser herzufließen, und es ist keine Contraction mehr sichtbar. Die Sprunghöhe des Strahls beträgt in diesem Falle höchstens 81 Procent der Bruchhöhe; die Geschwindigkeit hat sich also bedeutend vermindert; gleichwohl ist die Ausflussmenge grösser geworden, denn als Cöefficienten derselben findet man jetzt die Zahl 0,82.

Wenn das kurze Ansatzrohr sich bei der Einmündung etwas konisch verengt und dann wieder konisch erweitert, so vermehrt sich die Ausflussmenge fast ganz so wie bei dem cylindrischen Ansatz. Hieraus muss man schliessen, dass das Wasser beim Eingange in das cylindrische Rohr ebenfalls eine Contraction erleidet und erst nachher durch die Adhäsion der Röhrenwand genöthigt wird, sich wieder auszubreiten, dass es folglich mit zunehmender Geschwindigkeit in das Rohr ein- und mit abnehmender wieder austritt. Befindet sich an der Seite dieses Mundstücks eine kleine Oeffnung, durch welche die Luft hindringen kann, so reisst sich der Wasserstrahl sogleich von den Seitenwänden

Fig. 62.



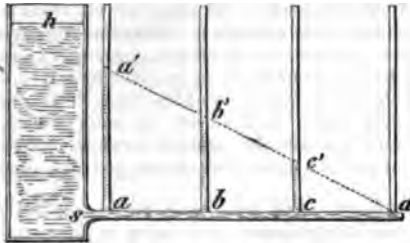
los und der Ausflusscoefficient sinkt auf 0,64. Wird in die Seitenöffnung *a* (Fig. 62) ein Glasrohr eingekittet, dessen anderes Ende *b* in ein Gefäss mit Wasser taucht, so steigt die Flüssigkeit in dem Rohr, zum Beweise einer thätigen Wirksamkeit des Luftdrucks auf beide Mündungen des Ansatzes. Derselbe bewirkt einerseits, vom Punkte der stärksten Zusammenziehung an, eine allmähliche Verzögerung der Ausflussgeschwindigkeit, während er andererseits die Geschwindigkeit des Einflusses in das Mundstück beschleunigen hilft und dadurch eine Vergrösserung der Ausflussmenge herbeiführt.

Die Ausflussmenge kann unter Mitwirkung des Luftdrucks und der Geschwindigkeit noch weit mehr vergrössert werden durch Mund sich nach Aussen hin konisch erweiternde. Wenn man ein derartiges in dessen kleinster Durchmesser ungefähr zweimal in dem grössten in der Länge enthalten ist, mit einem andern verbindet, das nach der Zusammenziehung des Strahls gebildet ist, so steigt der Ausfluss zu 1,25.

Wenn der Ausfluss in einen luftleeren Raum geschieht, so lässt kurz-cylindrische oder nach Aussen sich konisch erweiternde Ausflussröhren Vergrösserung der Ausflussmenge bewirken.

216. Wenn das Wasser durch längere cylindrische (Röhrenleitungen) fließen muss, verliert es durch die Reibung an den Röhrenwänden einen grossen Theil seiner bewegenden Kraft.

Fig. 63.



An der Seitenwand des Behälters (Fig. 63) befindet sich ein Mundstück nach der Zusammenziehung ein cylindrisches Rohr beliebiger Länge aus dem man die Ausflussgeschwindigkeit geschlossen hält, behält die Flüssigkeit in den verschiedenen Röhren, mit dem cylindrischen Behälter communicirenden senkrechten Glasröhren a, b, c und a' die Höhe, wie im Behälter. So wie aber der Ausfluss beginnt, sinkt das Wasser in allen und verschwindet ganz aus der letzten Röhre unmittelbar über der Ausmündung angebracht ist. Die Geschwindigkeit entspricht dem Drucke einer Wassersäule, deren Höhe gleich ist dem Unterschiede des Wasserstandes in der Röhre a' und in dem unmittelbar vor dem Mundstücke sich erhebenden Rohr a . Der ganze übrige Theil der Druckhöhe $h s$ wird durch die Widerstände verzehrt. Stehen die Glasröhren a, b, c in gleichen Entfernungen von einander, so findet man, dass die Wasserstände in denselben von einem zum andern um $\frac{1}{3}$ abnehmen. Hieraus folgt, dass der Widerstand sich wie die Länge des Leitungsrohrs. Um z. B. den Wasserstand von a bis b das Gleichgewicht zu halten, ist die Länge $a a' - b b'$ verwendet worden; der Druck der Wassersäule in b mehr um den Widerstand im Leitungsrohr von b bis a dem Drucke der Wassersäule $a a'$. Bis zum Punkte d hin des Rohrs, ist die ganze bewegende Kraft verwendet worden zur Hervorbringung von Geschwindigkeit, theils um die Reibung an den Röhrenwänden das Gleichgewicht zu halten; an dieser Stelle über die Wand des Leitungsrohrs gar keinen Druck mehr.

In gleich langen, aber ungleich weiten cylindrischen Röhren bemerkt man bei gleicher Ausflussgeschwindigkeit ungleich grosse Widerstände, die sich

ten umgekehrt wie die Durchmesser der Leitungsröhren. Vermehrt sich die Geschwindigkeit, womit das Wasser durch ein Leitungsrohr strömt, so wächst der Widerstand, und zwar, wiewohl nicht genau, im Quadrate der Geschwindigkeit.

Da die Wände der Röhrenleitungen von dem durchströmenden Wasser in der Regel benetzt werden, so bewegt sich dieses eigentlich zwischen Wasserwänden. Allein ein unvollkommener Grad der Flüssigkeit verhindert die ganze freie Beweglichkeit der Wassertheile unter einander und bewirkt dadurch einen Aufenthalt überall, wo das Wasser über feste, wenn auch benetzte Flächen hinfließen muss. Die hieraus entspringenden Widerstände sind es, welche mit dem Reibungswiderstand bezeichnet werden. Da die Flüssigkeit in jedem Querschnitt des cylindrischen Rohrs dieselbe mittlere Geschwindigkeit besitzt, so sieht man leicht, dass jeder Umkreis der Röhrenwand zur Wasserreinigung gleich viel beiträgt und einen um so grösseren Verlust herbeiführt, je mehr er einer gleichzeitig hindurchfließenden Wassermenge damit in Berührung kommen kann. Der zur Ueberwindung des Widerstandes erforderliche Druck, der Antheil der vorhandenen bewegenden Kraft, verhält sich daher direkt wie der ganze innere Wandfläche, und umgekehrt, wie der Querschnitt des Rohrs (er vielmehr wie die Anzahl bewegter Wasserfäden); woraus das direkte Verhältniss der Länge, so wie das umgekehrte des Durchmessers leicht abgeleitet werden kann. Die jeden Augenblick eintretenden Geschwindigkeitsveränderungen müssen durch die bewegende Kraft stets wieder ersetzt werden; nun sind es die zur Hervorbringung von Geschwindigkeit erforderlichen Druckhöhen, die im Quadrate der Geschwindigkeit proportional. In gleicher Weise müssen daher auch die an allen Punkten der Röhrenwand verzehrten und wieder erneuerten Geschwindigkeiten eine bewegende Kraft in Anspruch nehmen, die dem Quadrate der Geschwindigkeit oder der Geschwindigkeitshöhe selbst proportional ist. — Diese Folgerung würde mit dem Resultate der Erfahrung genau übereinstimmen, wenn das Wasser in allen Punkten ein und desselben Röhrendurchschnitts einerlei Geschwindigkeit besäße; man bemerkt jedoch stets eine Zunahme derselben von der Wand nach der Mitte hin. Die mittlere Geschwindigkeit, nach der Ausflussmenge berechnet, ist daher immer grösser, als die durch den Widerstand der Röhrenwände fortwährend verloren gehende. Die zum Wiederersatze nöthigen Druckhöhen sind folglich einem Werthe proportional, der nie ganz so gross ist, als das Quadrat der mittleren Geschwindigkeit. Da nun ferner der Unterschied zwischen den Geschwindigkeiten in der Mitte und an den Wänden des Rohrs sich um so grösser erweist, eine je raschere Strömung überhaupt stattfindet, so kommt es, dass man durch Annahme der mittleren Geschwindigkeit in der Rechnung einen veränderlichen Fehler begeht, der durch eine Zunahme des Widerstandscoefficienten (nämlich derjenigen Zahl, welche für Röhren mit 1 Fuss Länge und 1 Fuss Durchmesser bei 1 Fuss Geschwindigkeit die Höhe der Reibung als Wasser-Druckhöhe darstellt) bei abnehmender Bewegung sichtbar wird.

Offne Gerinne sind gleichsam Längenabschnitte von Röhren; durch die Bewegung an ihren Seitenwänden wird daher die Bewegung des Wassers aus denselben Gründen und nach denselben Gesetzen wie in geschlossenen Röhren verhalten. Während jedoch in den letzteren die Flüssigkeit nach allen Richtungen bewegt und sogar aufwärts getrieben werden kann, insofern nur der Ausfluss höher liegt als der Spiegel des Behälters, findet man, dass in offenen Gerinnen die Oberfläche des Wassers, so lange der Abfluss dauert, stets gleich einer schiefen Ebene geneigt ist. Die Länge eines Gerinnes dividirt durch die ganze Senkung über der Oberfläche, oder die Senkung auf die Einheit des Wegs, wird sein Gefälle genannt. Wenn Wasser durch ein offnes Gerinne mit gleichförmiger Geschwindigkeit strömt, so bezeichnet das Gefälle die zur Ueberwindung der Bewegungsbedingungen für die Einheit des Wegs erforderliche Kraft. Die Geschwindigkeit

selbst ist proportional der Quadratwurzel aus dem Gefälle. Anwendung: Bewegung des Wassers in Kanälen und Flüssen.

217. Die Ausflussgesetze des Wassers gelten zugleich übrigen tropfbaren Flüssigkeiten. Z. B. Quecksilber, We Oel fließen durch Oeffnungen in dünnen Platten, bei gleich des Spiegels mit derselben Geschwindigkeit aus wie das ' Wird dagegen eine Flüssigkeit durch das Gewicht einer and ungleicher Dichtigkeit, z. B. Wasser durch den Druck einer silbersäule, in Bewegung gesetzt, so ändert sich die Geschkeit des Ausflusses im geraden Verhältnisse zur Quadra aus der Dichtigkeit.

Die Bewegungshindernisse bei verschiedenen Flüss ändern sich mit dem Grade ihrer Dünnsflüssigkeit. Z. B. W strömt durch Röhren mit grösserer Leichtigkeit als das warme Wasser leichter als kaltes.

218. Wenn irgend eine Flüssigkeit mit gleichförmig der Geschwindigkeit ausfliessen soll, ist es nothwendig, d gel des Behälters unveränderlich zu erhalten, d. h. es mu fortwährend so viel zugesetzt werden, als unten abflie kann diesen Zweck auf folgende Art erreichen: Ein ger

Fig. 64. Gefäss (Fig. 64), das mit zwei Oeffnungen a u sehen ist, wird mit der Flüssigkeit angefüllt u ein offnes Glasrohr vermittelst eines Korks in nung a luftdicht eingepasst. Der Ausfluss geschie die Oeffnung b , während eine entsprechende Lu durch das offene Glasrohr nachdringt und sich im über der Flüssigkeit ansammelt. So lange die noch höher steht als die Mündung o des Rohrs, b Ausflussgeschwindigkeit beständig und von de höhe $h b$ abhängig, weil alles über dem Niveau h liche Wasser durch den Druck der äusseren Luft getragen v Geschwindigkeit vermindert sich daher, wenn das Rohr tiefsenkt wird, und hört ganz auf, wenn die Mündung o in de oder noch darunter steht. Dieser Apparat ist von Mariotte

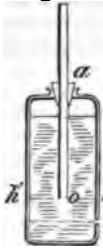
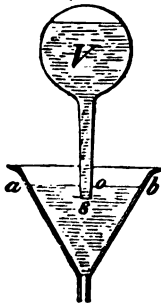


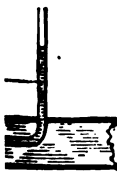
Fig. 65.



Auf demselben Principe beruhend ist die f häufiger angewendete Vorrichtung. Ein Gefäs (65) wird mit der Flüssigkeit gefüllt, umgest unter den Spiegel der Flüssigkeit eines zw Behälters so tief eingesenkt, dass eine kleine öffnung o oben den Spiegel $a b$ berührt. In der zweite Behälter sich entleert und sein sinkt, gelangt die Oeffnung o über die Wass Luft dringt ein und bewirkt den Ausfluss enthaltenen Flüssigkeit, wodurch das Niv unteren Behälters in einer gewissen Höhe h erhalten wird.

Hydraulischer Druck. Wenn fließendes Wasser auf eine Fläche und im Allgemeinen auf einen Widerstand trifft, es durch den Gegendruck desselben zunächst von der einen Richtung seiner Bewegung abgelenkt, verliert aber, es sich längs der widerstehenden Fläche nach allen Richtungen auszubreiten sucht, durch die Wasserreibung allmählich seine Geschwindigkeit. Da die stossende Flüssigkeit diesen Verweigung nur allmählich und nicht unmittelbar beim Zusammenstoß mit dem Widerstande erleidet, so kann der Wasserdruck in diesem Falle keine Erschütterung des gestossenen Körpers hervorrufen und ist in der That mehr einem Drucke zu vergleichen. Dieser Drucke, welcher zur Unterscheidung von dem hydrostatischen Drucke (dem Drucke des ruhenden Wassers) hydraulischer Druck genannt.

Eine ebene Fläche der Richtung des Stromes rechtwinklig entgegenstellt, vermag sie, ohne auszuweichen, die ganze Wirkung des hydraulischen Druckes aufzunehmen, so findet man die Grösse desselben gleich dem hydrostatischen Drucke; oder mit andern Worten: das Maass des hydraulischen Druckes in diesem Falle ist das Gewicht einer Wassersäule, welche den Querschnitt des stossenden Wassers zur Grundfläche und die Geschwindigkeitshöhe zur Höhe hat.



Verbindet man z. B. mit einem Wasserleitungsrohr (Fig. 66) zwei senkrecht aufwärts gerichtete Glasröhren, von denen die eine in der Mitte des Leitungsrohrs rechtwinklig umgebogen und dadurch ihre Einmündung der Richtung des Stroms entgegengesetzt ist, so werden die in beiden sich erhebenden Wassersäulen ungleiche Höhen behaupten; der Unterschied entspricht der Geschwindigkeitshöhe.

Der Stoss des Wassers gegen einen Körper gerichtet ist, dessen Gewicht gross genug ist, um dem ganzen hydraulischen Drucke das Gleichgewicht zu können, geht nur ein der Grösse des Widerstandes gleiches Gewicht auf den Körper über, und derselbe beginnt sich in Bewegung zu setzen, mit einer Geschwindigkeit, die derjenigen, welche das Wasser bei der Bewegung beibehalten hat, gleich ist. Anwendung auf die Schaufelräder oder unterschlächtigen Räder. Der Bewegungseffect des fließenden Wassers ist sich wie die Ausflussmenge multiplicirt mit dem Quadrate der Geschwindigkeit. Da nun das stossende Wasser, wenn es, wie bei den Schaufelrädern, zur Hervorbringung eines Nutzeffectes dienen soll, einen Theil seiner Kraft beibehalten muss, so ist es einleuchtend, dass der hydraulische Druckkraft unfähig ist, einen dem ganzen Bewegungseffecte gleichen Antheil zu erzeugen.

Der hydraulische Drucke wohl zu unterscheiden ist der Stoss des Wassers in geschlossenen Kanälen (z. B. in Leitungsrohren), der jedesmal eintritt, wenn die ganze in Bewegung befindliche Flüssigkeit durch einen Widerstand plötzlich aufgehalten wird. Das Wasser drückt in diesem Falle an jedem Punkte der Röhrenwand zwar nur einen Augenblick, aber mit demselben heftigen Gewalle, die der ganzen bewegten Masse und dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional, und daher fähig ist, sehr bedeutende Widerstände zu überwinden.

Die Anwendung auf den Stossheber oder hydraulischen Widder, eine Erfindung von Johann Bernoulli (Gehl. Wörterb. B. VIII, S. 1103).

Experimentalphysik.

Ausfluss gasförmiger Körper.

220. Wenn ein gasförmiger Körper, z. B. die Luft, auf Seite einer Scheidewand eine stärkere Spannung besitzt als die andere, so fliesst er nach der Seite der geringeren Spannung durch jede in der Wand angebrachte Oeffnung. Die Geschwindigkeit dieser Bewegung ist unveränderlich, so lange sich der Spannungsunterschied nicht ändert; sie vergrössert sich nur in dem Masse, in welchem der Spannungsunterschied zunimmt. Die Geschwindigkeit dieser Bewegung, in Abhängigkeit von der Grösse des Raumes (des Behälters), worin das gespannte Gas sich befindet.

221. Da die Möglichkeit des Ausflusses der Luft oder eines anderen Gases wesentlich darauf beruht, dass die Spannung auf der Seite der Oeffnung her ein geringeres Niveau erreicht, so folgt, dass das Gas in der Nähe der Oeffnung, bevor es beginnt zu fließen, zugleich sich ausdehnen muss, sobald es die grösstmögliche Geschwindigkeit erreicht hat, es auch das ganze Uebergewicht seiner Spannung verloren hat.

222. Die Ausflussgesetze der Gase lassen sich auf die Gesetze der tropfbaren Flüssigkeiten zurückführen, wenn man das Gas als unzusammendrückbar und von gleicher Dichtigkeit mit dem äusseren betrachtet, und indem man ferner den Spannungsunterschied des inneren gegen den äusseren Druck so ansetzt, als würde er durch das Gewicht einer Gassäule von entsprechender Höhe, bei derselben Spannkraft, wie sie die äussere Gassäule hervorgebracht. Von dieser Betrachtungsweise ausgehend, kann man die Ausflussgeschwindigkeit durch Oeffnungen in Platten, proportional der Quadratwurzel aus der Höhe der äusseren Gassäule. Durch Oeffnungen oder Mundstücke von anderer Gestalt fliessen, ähnlich wie bei den tropfbaren Flüssigkeiten, ungleiche Gasmengen; wesshalb die Bestimmung der Flussmenge Kenntniss des der Oeffnung entsprechenden Coefficienten voraussetzt.

Das Uebergewicht der Spannkraft der in einem Behälter eingepressten Luft pflegt man mittelst des Manometers (200) zu messen, und durch das Gewicht einer Quecksilber- oder Wassersäule auszudrücken. Gesetzlich ist die Höhe der Wassersäule sey h ; die Dichtigkeit des eingeschlossenen Gases bezogen auf den Druck ausserhalb des Behälters, sey δ , wenn das Gewicht des Wassers als Einheit genommen wird, so ist die gesuchte Gassäule $\frac{h}{\delta}$, nämlich so viel höher als h , wie das Wasser die Dichtigkeit des Gases.

Beispiel: Die Dichtigkeit der Luft bei dem Barometerstande b und der Temperatur t° ist: $\delta = \frac{1}{770} \cdot \frac{b \cdot 273}{336,9 (273 + t^\circ)}$; (204) folglich die Höhe der Gassäule, welche denselben Druck ausübt, wie die Wassersäule h ,

$\frac{36,9(273 + t^{\circ})}{273 \cdot b}$ h. Die Ausflussgeschwindigkeit findet man dann $v =$

Gase erleiden beim Ausfluss durch Oeffnungen in dünnen Platten eine Contraction, welche wie bei den tropfbarren Flüssigkeiten veränderlich ist. Sie ist um so grösser, je höher die Höhe der drückenden Gassäule oder wenn die Ausflussgeschwindigkeit geringer wird, dergestalt, dass bei gleicher Geschwindigkeit und gleicher Oeffnung der Ausflusscoefficient für die Luft mit dem für das Wasser fast übereinstimmt.

Bei den Blasebälgen und den grösseren Gebläse-Maschinen, die auf den Gassen angewendet werden, lässt man die verdichtete Luft gewöhnlich durch kurze, konische, nach Aussen sich verengernde Ansätze (sogenannte Conicalnozzeln) ausströmen. Die konische Verjüngung derselben entspricht einem Winkel von 5°, und der Ausflusscoefficient bezogen auf den kleinsten Querschnitt schwankt je nach der Grösse der Geschwindigkeit zwischen 0,80 und 0,90. Ein zweckmässiger würde es seyn, statt der konischen Düsen solche zu verwenden, die genauer nach der Gestalt der Contraction gebildet sind. Die Ausflussgeschwindigkeiten würden dann bei veränderter Druckhöhe weniger schwanken.

Um die Ausflussgeschwindigkeit durch cylindrische Ansätze vermehren die Ausflussmenge auf Kosten der Geschwindigkeit. In noch auffallenderem Grade geschieht dies durch konisch erweiterte Mundstücke, aus Gründen, die bereits in Nr. 215 erwähnt worden sind. Befindet sich an der Seitenwand des Mundstücks eine Oeffnung, so strömt Luft durch dieselbe ein. Leitet man von dieser Oeffnung ein Rohr senkrecht abwärts in ein Gefäss mit Wasser oder Quecksilber, so steigt die Luft durch dieses bis zu einer Höhe, die genau die Grösse der Mitwirkung des Luftdruckes bezeichnet.

67. Hierher gehört auch die folgende Erscheinung: Eine leichte frei aufgehängte Scheibe $c d$, dem durch die Oeffnung o eines Behälters austretenden Gasstromes aus einiger Entfernung dargeboten, wird abgestossen. Befindet sich aber die Oeffnung o in der Mitte einer ebenen Fläche $a b$, und hat man die bewegliche Scheibe über eine gewisse Grenze hinaus genähert, so wird sie nicht abgestossen, sondern mit beschleunigter Bewegung angezogen, bis zwischen beiden Scheiben nur noch ein schmaler ringförmiger Zwischenraum bleibt, der nunmehr gleichsam die äusserste Ausmündung der Oeffnung bildet und durch welchen das Gas mit von o aus abnehmender Geschwindigkeit d ausströmt.

Wenn der aus einer konischen Düse (Fig. 68) entweichende Gasstrom genöthigt ist, durch ein kurzes, an beiden Seiten offenes cylindrisches Rohr $a b$ zu gehen, so tritt ein ganz ähnliches Verhalten ein, wie bei einem kurzen cylindrischen Ansatz. Die ausströmende Luft füllt die ganze Ausmündung b des Rohrs, und ihre Bewegung wird verlangsamt, während bei a die äussere Luft mitgerissen oder eingesaugt wird. Es fliesst also bei b mehr aus, als der Pressung im Behälter und der Weite der Düse entspricht, jedoch auf Kosten der Geschwindigkeit. Man hat von diesem Verhalten eine nützliche Anwendung gemacht, um mittelst eines Dampfstroms und ohne Behülfe eines Schornsteins den zur Belebung des Feuers nöthigen Zug hervorzubringen.

Ausströmende Gase, auch wenn sie nicht genöthigt durch einen weiteren, von festen Wänden eingeschlossenen Kanal zu breiten sich bei allmählig abnehmender Geschwindigkeit mehr und mehr, indem sie die umgebende Luft ringsum mit sich fortreissen und sich enger zuziehen. Der durch enge Oeffnungen ausströmende Dampf, so wie die



Fig. 68.

Flamme des Leuchtgases nehmen aus diesem Grunde eine Gestalt an, die derjenigen eines umgestürzten Kegels ähnlich ist. Aus diesem Umstande erklärt sich auch die rasche Abkühlung erwärmter, durch enge Oeffnungen ausfließender Gase.

Wenn gasförmige Körper durch längere cylindrische Röhren fließen müssen erfahren sie einen von der Beschaffenheit, insbesondere von der Glätte der Röhrenwand abhängigen Widerstand, der übrigens wie bei den tropfbaren Flüssigkeiten im direkten Verhältnisse zum Quadrate der Geschwindigkeit und der Röhrenlänge, aber im umgekehrten des Durchmessers steht. Dieser Widerstand als Wassersäule ausgedrückt, ist in ein und demselben Rohr für alle Gase, bei jeder Temperatur und Dichtigkeit gleich gross, wenn die Geschwindigkeit ebenfalls als Wassersäule ausgedrückt, stets dieselbe bleibt. (Studien des Götting. Bergmännischen Vereins, Bd. IV, S. 131.)

223. Verschiedene Gase bei gleicher Spannkraft, fließen durch Oeffnungen von ganz gleicher Beschaffenheit mit Geschwindigkeiten aus, die sich verhalten umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus der Dichtigkeit oder direkt wie die Quadratwurzeln aus der spezifischen Expansivkraft (206) dieser Gase.

Der Grund ist, weil die Höhe der drückenden Gassäule bestimmt wird, indem man den Stand des Manometers durch die Dichtigkeit des Gases dividirt. Zi eine Wasserstoffsäule, welche denselben Druck ausüben soll, wie eine Sauerstoffsäule, muss eine 16mal grössere Höhe besitzen. Der ausfließende Wasserstoff ist also gleichsam von einer 16mal grösseren Höhe herabgefallen, als die unter ganz gleicher Pressung ausfließende Sauerstoff. Die Geschwindigkeit des ersteren ist daher viermal so gross als die des letzteren.

Erwärmung vermehrt das eigenthümliche Expansivvermögen der Gase und vergrössert folglich auch bei übrigens unverändertem Stande des Manometers ihre Ausflussgeschwindigkeit. Durch die Ausdehnung wird nämlich die drückende Gassäule H gleichsam im Verhältnisse von $\frac{273 + T}{273 + t}$, also die Geschwindigkeit im Verhältnisse von $\sqrt{\frac{273 + T}{273 + t}}$ vergrössert. Die absolute Ausflussmenge dagegen verändert sich im Verhältnisse von $\frac{273 + t}{273 + T}$; (202). Von warmer Luft strömt daher unter ganz gleichem Drucke weniger aus als von kalter Luft.

224. Bedingungen des Zugs in den Oefen. Die Luft durch sich durch Erwärmung aus und wird leichter; wenn daher ein Ofen in Verbindung stehendes aufwärts gerichtetes Rohr (der Schornstein) mit Luft von höherer Temperatur als die äussere angefüllt ist, so erleidet die Basis dieser erwärmten Luftsäule den Rost, gleichwie die unmittelbar über dem Roste (im Feuerraum) befindliche Luft von Innen einen geringeren Druck als von Aussen. Hierdurch entsteht der Zug oder der Einfluss der äusseren stärker gespannten Luft durch die Zwischenräume der Roststäbe in den Feuerraum. Die Fortdauer und Gleichförmigkeit des Zugs hängt davon ab, dass die einströmende Luft den Zustand der inneren annimmt und, nachdem sie zur Verbrennung gedient hat, von Aussen geföhrt wird. Um die Stärke des Zugs oder die Grösse der Geschwindigkeit, womit die äussere Luft in den Feuerraum eintreten kann, zu bestimmen, ist es nöthig, die Dichtigkeit der Luft in beiden Zuständen zu kennen. Wenn die Luft bei der Temperatur T die Dichtigkeit d hat, so wird sie bei der Temperatur t die Dichtigkeit d' haben, wenn $\frac{273 + T}{273 + t} = \frac{d}{d'}$ ist. Die Dichtigkeit der Luft bei T ist $d = \frac{1}{366.25 + T}$, die Dichtigkeit bei t ist $d' = \frac{1}{366.25 + t}$. Die Dichtigkeit der Luft bei T ist also $\frac{366.25 + t}{366.25 + T}$ mal so gross als die Dichtigkeit bei t . Die Geschwindigkeit der Luft bei T ist also $\sqrt{\frac{366.25 + t}{366.25 + T}}$ mal so gross als die Geschwindigkeit bei t . Die absolute Ausflussmenge der Luft bei T ist also $\frac{366.25 + t}{366.25 + T}$ mal so gross als die absolute Ausflussmenge bei t .

dringen kann, zu bestimmen, muss man das Uebergewicht der äusseren Spannung als eine Gassäule von derselben Beschaffenheit wie die innere Luft in Rechnung nehmen (222). Geschwindigkeit und Menge der einströmenden Luft lässt sich dann leicht ermitteln.

Es sey H die senkrechte Höhe des Schornsteins, T die mittlere Temperatur der gleich hohen warmen Luftsäule, t die äussere Temperatur. Eine Säule der kälteren Luft von der Höhe H würde einer warmen Luftsäule von der Höhe $H \frac{273 + T}{273 + t}$ das Gleichgewicht halten können (202); das Uebergewicht des äusseren Drucks als Luftsäule von der Temperatur T berechnet, entspricht folglich der Höhe $\frac{273 + T}{273 + t} \cdot H - H = \frac{T - t}{273 + t} H$. Die nach dieser Druckhöhe be-

rechnete Einflussmenge $M' = f \sqrt{2c \frac{(T - t) H}{273 + t}}$ bezieht sich jedoch auf Luft,

welche bereits die mittlere innere Temperatur angenommen hat, und gibt folglich keine ganz richtige Vorstellung von der Stärke des Zugs, nämlich von der Menge einströmender kalter Luft, von welcher allein die Lebhaftigkeit der Verbrennung abhängt. Die Einflussmenge M' auf die äussere Temperatur reducirt

führt zu der Gleichung $M = f \sqrt{2c \frac{(273 + t)(T - t) H}{(273 + T)^2}}$, aus der sich nun-

mehr ein richtiges Urtheil ziehen lässt über den Einfluss, welchen Schornsteinhöhe und mittlere Temperatur der Schornsteinluft auf die Stärke des Zugs ausüben können.

Man findet, dass die Geschwindigkeit des Zugs der Quadratwurzel aus der senkrechten Höhe des Schornsteins proportional ist; dass sie hingegen durch Temperaturerhöhung nur in einem abnehmenden Verhältnisse begünstigt wird, in der Art, dass durch Erwärmung der inneren Luftsäule über eine gewisse Temperatur (ungefähr 273°) hinaus sogar eine Abnahme des Zugs entstehen muss.

Die Stärke des Zugs hängt aber auch von der Grösse des Widerstandes ab, welchen der Luftstrom im Innern des Ofens und des Schornsteins erfährt. Nun weiss man, dass strömende Flüssigkeiten an den Wänden der Leitungsröhren einen Widerstand erleiden, der dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional ist. Die möglichst grosse Einflussgeschwindigkeit knüpft sich also an die Bedingung einer möglichst langsamen Bewegung im Schornstein. Diese Bedingung wird hinreichend erfüllt, wenn der Querschnitt des Schornsteins und überhaupt des ganzen Abzugskanals für die abgenutzte Luft an keiner Stelle weniger beträgt als der Flächeninhalt der Rostöffnungen zusammengenommen. Hierbei ist freilich vorausgesetzt, dass der Rost mit dem Brennstoffe stets vollständig bedeckt bleibe, ohne doch davon verstopft zu werden.

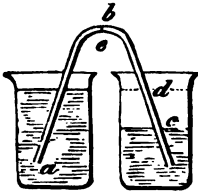
Hydraulische und pneumatische Apparate.

225. Die Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung flüssiger Körper bilden die Grundlage zur Erklärung zahlreicher Ma-

schinen und Apparate. Wir begnügen uns, einige der Geräthschaften des praktischen Physikers und Chemikers besonders hervorzuheben.

226. Der Heber. So nennt man ein umgebogenes Glas oder Metall, welches gebraucht wird, um eine Flüssigkeit ihrem Behälter zu ziehen, ohne eine Oeffnung daran an

Fig. 69.



Zwei offene Gefässe (Fig. 69) enthalten oder eine andere Flüssigkeit. Das Rohr abc , ebenfalls damit gefüllt und gleich dem einen Schenkel in das eine Gefäss, stürzt in das andere Gefäss, bleibt voll (193); die enthaltene Flüssigkeit wird durch den Luftdruck getragen, die Wasserspiegel in beiden Gefässen selbst in derselben wagrechten Ebene, so besitzt

den beiden Schenkeln des Heberröhres eingeschlossenen Wasser gleiche lothrechte Höhen und halten einander das Gleichgewicht. Beide äussern einen gleich starken Zug auf den senkrechten Querschnitt be am Scheitel des Rohrs. Steht die Flüssigkeit in den Gefässen niedriger als im andern, so sind die Wasserspiegel in den Schenkeln des Heberröhres nicht mehr gleich hoch, und auf der Seite der höhern Säule ein, dem Höhenunterschied beider Wasserspiegel gleiches Uebergewicht des Zuges. Dieser sinkt daher in diesem Theile des Rohrs. Weil aber wegen des Drucks der Luft stets gefüllt bleiben muss, so dringt a eine eben so grosse Menge Flüssigkeit nachdringen, auf andern Seite ausfliesst. Diese Bewegung geht mit Beschleunigung vor sich, die in jedem Augenblicke der Wurzel aus dem Unterschiede dc beider Wasserspiegel proportional ist. Das zweite Gefäss ist nicht wesentlich, um in Gang zu setzen; wird es entfernt, so ist die Grösse des Uebergewichts (die Druckhöhe) gleich dem lothrechten Abfluss der flüssigen Oberfläche von der Ausmündung des äussern Gefässes ganz so, als ob diese Ausmündung unmittelbar in der Höhe angebracht wäre. — Der Luftdruck ist, wie man sieht, die Ursache des Ausflusses, er dient nur, das Heberrohr zu halten. Im luftleeren Raum hört die Wirksamkeit des Luftdrucks auf, weil das Steigrohr ab nicht gefüllt bleibt. In der Atmosphäre die lothrechte Erhebung desselben über den Spiegel der Flüssigkeit nicht 32 Fuss nicht übersteigen. Um Quecksilber abzuziehen, muss das Heberrohr nicht 28 Zoll hoch seyn.

Die Schnelligkeit, womit das Wasser mittelst des Heberröhres fliesst, nimmt ab, je mehr sich der Spiegel der Flüssigkeit in dem Gefäss niedrigt. Man kann einen gleichförmig fortdauernden Wasserlauf erhalten, wenn man den Heber mit Hülfe einer geeigneten Vorrichtung auf dem Wasser schwimmen lässt. Die in Fig. 70 a

Fig. 70.



Abänderung des mariottischen Gefässes (siehe Fig. 64) gestattet ebenfalls einen gleichbleibenden Abfluss.

Das Anfüllen des Hebers kann, bevor er umgestürzt ist, leicht durch Eingiessen von Wasser bewerkstelligt werden. Taucht der eine Schenkel bereits in die Flüssigkeit ein, so füllt man ihn durch Saugen an der Mündung des andern Schenkels. Um scharfe und ätzende Flüssigkeiten abzuziehen, können Heber von der Einrichtung Fig. 71 oder 72 gebraucht werden.

Fig. 71.

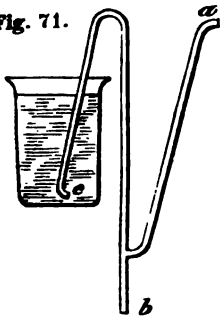
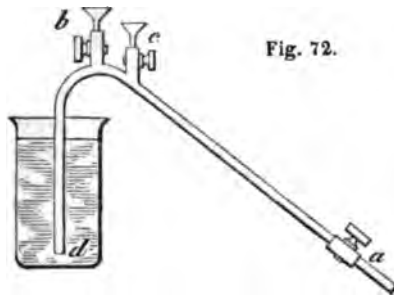


Fig. 72.

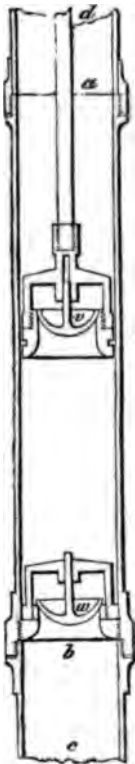


Während das Ende *c* Fig. 71 in die Flüssigkeit taucht, wird die Öffnung *b* mit dem Finger geschlossen und bei *a* gesaugt, bis das Rohr gefüllt hat. Der Heber Fig. 72 hat vier Oeffnungen, von welchen drei mit Hahnen verschliessbar. Während der Hahn *a* zu ist und der Schenkel *d* in der Flüssigkeit steht, wird von derselben Flüssigkeit durch den Trichter *c* eingegossen; *b* dient, um der Hahn *a* einen Ausweg zu schaffen. Ist das Rohr angefüllt, so schliesst man die Hahnen *b* und *c* und öffnet *a*.

Der Stechheber ist ein gerades, offnes, ziemlich weites Rohr mit engen Mündungen. Senkt man dasselbe in eine Flüssigkeit, so taucht diese ein und steigt darin zu derselben Höhe, welche sie ausserhalb einnimmt. Hält man sodann die obere Oeffnung mit dem Finger zu, so kann man den Stechheber aus der Flüssigkeit nehmen, ohne dass etwas ausfliesst.

227. Die Wasserpumpe. Den Haupttheil der Pumpe bildet ein cylindrisches Rohr, der Stiefel *ab* (Fig. 73), worin ein Kolben wasserdicht auf und nieder beweglich ist, und dessen Verbindung nach Aussen durch zwei Ventile *v* und *w*, die sich beide von Unten nach Oben öffnen, bewerkstelligt wird. Das sogenannte Saugventil *w* sitzt am Boden des Stiefels, das Steigventil *v* ist entweder, wie in Fig. 69, im Kolben oder

Fig. 73.



an der Seitenwand des Stiefels angebracht. Der Stiefel nicht unmittelbar in das Wasser, der Pumpe gehoben werden soll, eingesenkt befindet sich unter dem Saugventil luftdicht. Stiefel befestigt ein zweites Rohr *b c*, das Rohr, dessen unteres Ende in das Wasser und dadurch die Verbindung desselben mit der Pumpe herstellt. Das Spiel der Wasserpumpe ist Luftpumpe (192) ganz ähnlich. Wird die Pumpe aufgezogen, so bleibt das Ventil *v* durch die äussere Luft geschlossen, während *w* sich hebt und die Luft im Saugrohr verdünnt wird. Beim Niedergang des Kolbens dringt ein ohne beim Niedergang des Kolbens durch das Saugventil sogleich geschlossen wieder zurückfliessen zu können. Auf die Pumpe wird nach mehreren Kolbenspielen, vermehrt durch den Druck der Atmosphäre auf die Fläche des Stiefels durch die Ventil-Oeffnung bis in den Stiefel gehoben. Das in den letzteren eingedrungene Wasser kann, wenn das Saugventil gut geschlossen ist, nicht mehr zurücklaufen, und wird daher durch den Niedergang des Kolbens genöthigt, das Saugventil zu öffnen und über den Kolben zu treten. So bei fortgesetztem Betriebe, alles aufgesaugte Wasser über den Kolben gehoben und kann nach und nach zu jeder beliebigen Höhe geschafft werden. Zu diesem Zwecke ist an dem unteren Ende des Stiefels ein drittes Rohr, das Saugrohr, angesetzt.

Der Kolben hat von dem darüber stehenden Wasser ein Gewicht zu erleiden, der, ganz unabhängig von der Weite des Saugrohrs, durch das Gewicht einer Wassersäule gemessen wird, welche die Querschnitt des Stiefels zur Grundfläche und die Höhe des Wassers standes darüber zur Höhe hat (168). Die unter dem Saugventil Stiefel und Saugrohr hängende Wassersäule wird zwar durch den Druck der Atmosphäre auf den Spiegel des Wassers in der Pumpe getragen; allein derselbe Druck wirkt durch das Saugrohr auf die obere Fläche des Kolbens und strebt diesen mit dieser Kraft abwärts zu bewegen, womit die aufgesaugte Wasser gehoben wird. Hätte diese letztere z. B. die Höhe von 32 Fuss, so würde sich auf die obere Kolbenfläche der ganze Atmosphärendruck, entsprechend dem einer Wassersäule von 32 Fuss untere Kolbenfläche aber (eben wegen des Gegengewichts der Saugsäule) nur der Druck 32—*a* fortpflanzen. Von oben auf den Kolben ein Uebergewicht von *a* Fuss wirksam, gleich als ob das aufgesaugte Wasser ebenfalls auf dem Kolben ruhte. Der auf

ist daher in der That nicht nur das darüber stehende, sondern auch das darunter hängende Wasser zu heben, und die Befestigung muss dem Gewichte einer Wassersäule das Gleiche leisten, welche den ganzen Höhenunterschied (H) des oberen und unteren Wasserspiegels zur Höhe und den Querschnitt (f) des Stiefels zur Grundfläche hat.

Bei jedem Kolbenhub legt diese Wassersäule $f H$ in der Richtung der Schwere die gleiche Länge (a) des Hubs entsprechenden Weg zurück. So oft also eine dem Stiefel entsprechende Wassermenge oben zum Ausguss kommt, ist ein Drehmoment $f H \times a = f a \times H$ verwendet worden. Man sieht leicht, dass (ohne Rücksicht auf Bewegungshindernisse) zum Betriebe derselben dieselbe Kraft angewendet werden muss, wie wenn alles oben abgehoben und unmittelbar zur Förderungshöhe H gehoben würde. Weil aber die Ventile selten ganz luftdicht schliessen, so fliesst während des Hubes fast immer etwas Wasser zurück; aus diesem Grunde, theils aber auch wegen der Reibung des Kolbens, so wie des bewegten Wassers an den Wänden der Röhren, beträgt die wirkliche Betriebskraft stets $\frac{1}{10}$ bis $\frac{3}{10}$ mehr als theoretisch berechnete.

Die Einrichtung (Fig. 73) ist nach Verhältnissen ausgeführt, welche man als die einfachsten anerkannt hat, um die Hindernisse der Bewegung so gering zu machen. — Der Durchmesser des Stiefels (bei der gewöhnlichen Größe von 2—3 Zoll) ist von der Grösse der Betriebskraft abhängig; seine Stärke der Regel nach nicht unter 10 Zoll betragen. Die Weite des Steigrohrs des Stiefels gleich oder doch nicht viel geringer. Der Flächeninhalt der Ventile ist die Hälfte oder ihr Durchmesser $\frac{2}{3}$ von der des Stiefels. Der Durchmesser erhält das Saugrohr; seine Länge beträgt gewöhnlich etwa 10—14 Fuss. Das Wasser könnte zwar durch den Luftdruck bis zu dieser Höhe gehoben werden; allein man erspart nichts an Kraft durch eine Wassersäule.

Die Abdichtung des Anschlusses des Kolbens an der Wand des Stiefels wird durch einen den massiven Kern des Kolbens umgebenden Lederstreifen bewirkt. Daher der Name Liederung.

Figur 74 zeigt eine der zweckmässigsten Liederungsmethoden, welche von Henschel zuerst angewendet worden ist. Der abgedrehte metallene Kolben hat im Stiefel nur so viel Spielraum, dass er sich ohne Einklemmung bewegt. In denselben ist eine Nuth rechtwinklig eingedreht, die durch einen zusammenhängenden mit etwas Spielraum lose einliegenden Lederring ausgefüllt wird. Der Querschnitt des Rings ist ein Quadrat. Durch den Druck des Kolbens zwischen der Kolbenfläche und Stiefelwand in die Nuth eindringendes Wasser, wird der Lederring bei c nach der Fuge hingetrieben und verschliesst sich ringsum. Der hiedurch bewirkte Abdruck ist um so fester, je stärker der Wasserdruck, so dass also mit der Höhe der Wassersäule und dem vermehrten Bestreben der Flüssigkeit zu dringen, zu gleicher Zeit stets der Widerstand der Liederung wächst, so dass folglich die durch den Druck des Leders auf die Stiefelwand bewirkte Reibung nie grösser ist, als es die Bedingung eines genügenden Abdrucks durchaus nothwendig macht.

Die beschriebene Wasserpumpe (Fig. 73) wird vorzugsweise eine Saugpumpe genannt. Befindet sich hingegen das zweite Ventil so wie das erste an der Seite des Stiefels, wie in Fig. 75, so pflegt man ihr den Namen Druckpumpe oder auch schlechthin Druckpumpe zu geben. Man wendet sie hauptsächlich in solchen Fällen an, wo es un bequem wäre, das Steigrohr lothrecht über den Stiefel zu führen.

Feuerspritzen sind Druckpumpen, mittelst welchen das Wasser

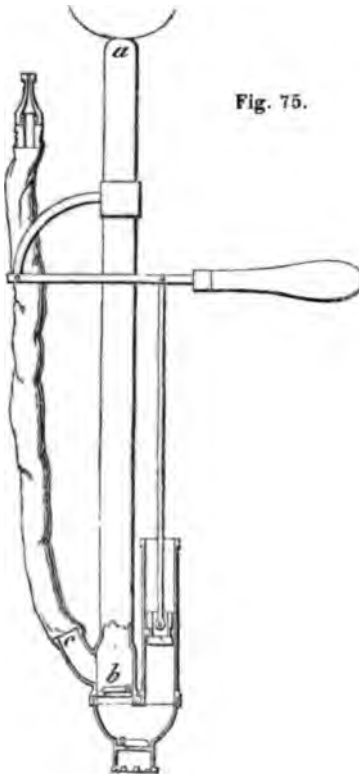
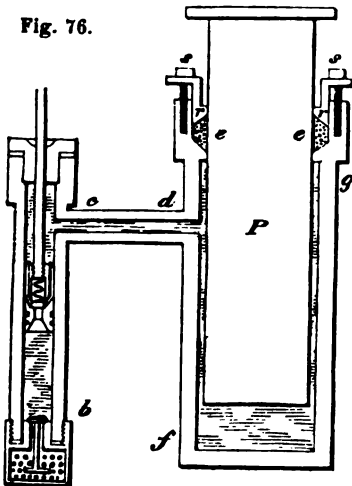


Fig. 75.

zuerst in den sogenannten Heronsball (Fig. 49), gepresst und dadurch vermöge der fortwirkenden dichteten Luft, in gleichförmiger Bewegung durch eine passende Oeffnung (Fig. 50), ausgetrieben wird. Das Spritzstück ist am zweckmässigsten nach der Gestalt des Henschel'schen Spritzstücks (Fig. 51) geformt. Es sitzt entweder unmittelbar auf dem Windkessel oder am Ende einer mit dem Windkessel verbundenen Schlauchleitung. Fig. 75 zeigt den Durchschnitten Henschel'schen Handnatürlicher Grösse; *a b* ist der Windkessel; *b c* ein von dem Windkessel nach unten hängendes kurzes Ansatzrohr, an dem ein Schlauch angeschraubt wird. Bei *a* dient zum Festhalten des Spritzstücks während des Gebrauchs. Zwei Feuerstrahlen werden zugleich angewendet. Bei *d* ist das gemeinschaftliche Steigrohr.

Fig. 76.



228. Die hydraulische Presse. Nach dem Pascal'schen Grundgesetze (Fig. 227) wird durch einen einseitigen Druck von gegebenem Betrage ein Druck von gleicher Stärke auf der gegenüberliegenden Seite mit gleicher Stärke fortgeleitet, und folglich, wenn er auf einer beweglichen Wand wirkt, durch blosses Vergrössern der Fläche dieser Wand, zu jeder beliebigen Vervielfachung vervielfacht, zum Vortheil der Arbeit. Die hydraulische Presse nach ihrem Erfinder (Fig. 228) ist nach dem Prinzip der Pascal'schen Presse genau nach demselben Grundgesetze Anwendung dieses Gesetzes durch die Kolbenpumpe ausgeübten Druckes zu vervielfachen.

Figur 76 ist ein Durchschnitten einer solchen Maschine. Die kleine Pumpe *b* saugt das Wasser durch ein Rohr *c d* in den Presscylinder *P* über; es drückt die Grundfläche des kleinen Kolbens *b* auf den kleinen Presscylinder, der

g gesetzt wird. Es sey F der Inhalt der Cylinder-Querschnittes des Pumpenstiefels, K die Kraft, betrieben wird, so wirkt (160) auf den Press-

$$L = K \frac{F}{f}.$$

l durch eine Hebelstange bewegt, deren Arme stehen. Auf den Presscylinder wirkt daher der

$\frac{R}{r}$, wenn K die am Hebelsarme R thätige Kraft

bedeutet also das Verhältniss zwischen Last und thätigen Arme der Presse, indem man das Verhältniss der Arme was dasselbe ist, das Verhältniss der Quadrate des Presscylinders und des Stiefels, mit dem Verhältniss der Arme multiplicirt. Z. B. bei einer kleinen hydraulischen Presse, wie man sie in chemischen Laboratorien findet (Stiefel 5''' , der Presscylinder 25''' Durchmesser, die Arme wie 1 : 5, und der Quadrate wie 1 : 25), das Verhältniss der Kräfte ist wie 1 : 6. Bei dieser kleinen Maschine ist

$L = 150 K$; d. h. durch jedes Pfund Kraft werden

150 Pfund überwunden, also durch die mässige Kraft ein Mensch leicht ausüben kann, lassen sich die meisten Bewegungen setzen.

f, da wo der Cylinder *P* hervortritt, nach Aussen waschen, kann die vorher (227) beschriebene Liederung angebracht werden. Fig. 76 zeigt eine andere Art des Abschlusses, mittelst der Ventile. *e e* ist eine Höhlung, die den massiven Cylinder umschliesst mit Lederschnitzel, die man zuvor mit Fett getränkt und mit Wasser ausgefüllt. Ein den Cylinder umschliessender beweglicher Ring bildet die obere Wand dieser Höhlung; er wird mittelst der Ventile eingetrieben, bis das auf diese Weise gegen die Cylinderwand kein Wasser mehr durchlässt. Die Kolbenstange geht am Ende ebenfalls durch eine Stopfbüchse. Ihr Durchmesser ist so, dass sie die Hälfte des innern Raums des Stiefels ausfüllt. Das Wasser des Kolbens über das Kolbenventil gelangende Wasser, findet sich in *g*; die Hälfte davon muss sogleich in den Behälter *g h* des Presscylinders heben. Die andere Hälfte wirkt beim Aufgange der Presse. Diese Anordnung bleibt also die hydraulische Presse während des Ganges des Kolbens in fortdauernder Wirksamkeit.

Die Druckpumpe und Presscylinder verbindet, befindet sich ein Ventil verschliessbare Oeffnung, deren nächster Zweck die Erhaltung der Presse über die Gränze ihrer Haltbarkeit zu sein. Fig. 1. sieht man den Durchschnitt einer hydraulischen Presse, die diese Anordnung besitzt. Die Druckpumpe *a b* ist durch ein Ventil mit dem Presscylinder *e f* verbunden, der hier eine wagerechte Stellung im Querschnitte zu sehen ist. Der Hahn *h* mit doppelter Ventile nach Erforderniss die in den Presscylinder eingepumpte Luft lassen zu können. Bei *c* befindet sich das Ventil. Es besteht aus einer Stange *c d*, deren unteres Ende kugelförmig abge-

rundet ist und auf einem engen cylindrischen Kanale c , mit eben und w. abgeschliffenem Rande aufsitzt. Das obere Ende der Ventilstange geht b durch eine ringförmige Oeffnung, wodurch ihre lothrechte Stellung g ist. Das Gewicht der Stange ist bekannt und kann durch aufgelegte G beliebig vermehrt werden. Es ist einleuchtend, dass die mittelst der pumpe in den Kanal $k h g$ eingetrichene Flüssigkeit auf das Ventil ein so starken Druck äussert als auf einen gleichgrossen Theil der Fläche des kolbens. So oft daher der Widerstand des letzteren verhältnissmässig wird als die Belastung (das Gewicht) der Ventilstange, hebt sich die und die eingedrungene Flüssigkeit muss durch die Ventilöffnung wie treten, ohne den Presskolben in Bewegung zu setzen. Widerstehen beide hältniss zu ihren Querschnittflächen mit gleicher Stärke, so wird der kolben in Bewegung gesetzt, während zugleich ein Theil der Flüssigkeit das Ventil geht. Kennt man daher das Verhältniss der Weite der cylindrischen Oeffnung c zu der des Presscylinders, so lässt sich aus der Summe der wichte G , der gegen den Presskolben wirksame hydrostatische Druck nen. Die hydraulische Presse wird hierdurch ein zu manchen Zwecken; Ermittlung des Maasses bedeutender Cohäsionskräfte sehr brauchbarer apparat.

Diffusion und Apsorption der Gase.

229. Wenn man eine Luftmenge von gegebenem Raume (v) und gegebener Spannkraft (b) mit einer andern Luft deren Rauminhalt (v') und Spannkraft (b') ebenfalls bekannt in einem Raume V zusammenbringt, so bildet sich eine neue Spannkraft:

$$B = \frac{vb + v'b'}{V}$$

gerade so, als ob jede Luftmenge sich im ganzen Raume vertheilt und ihre dadurch veränderten Spannkraft sich addirten. Diess lehrt das mariottische Gesetz (200).

Verschiedenartige Gase, insofern sie nicht chemisch auf einander wirken (d. h. insofern nicht ihre kleinsten Theile durch gegenseitige chemische Anziehung eine Veränderung in der Stärke ihrer abstossenden Kräfte erleiden), müssen sich, in dem Raume gebracht, gerade so verhalten wie gleichartige Gase;

es muss ein mittlerer Druck $B = \frac{bv + b'v'}{V}$ entstehen. 1

Schluss wird durch die Erfahrung, z. B. beim Zusammentreten Sauerstoff und Wasserstoff oder irgend zweier anderer Gase kommen gerechtfertigt.

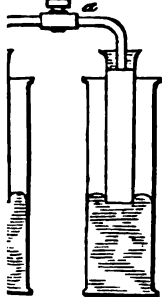
230. Verschiedenartige Gase, die in Berührung mit einander treten, bilden, auch wenn sie nicht chemisch auf einander wirken, nach und nach ein ganz gleichförmiges Gemenge. Ihre neue

Spannkraft $B = \frac{bv + b'v'}{V}$ wird dadurch nicht verändert

solche Vertheilung zweier oder auch mehrerer Gase durch einfindet nach und nach selbst dann statt, wenn die Behälter,

schon zuerst befinden, nur durch eine enge Oeffnung in Verbindung gesetzt werden. Dieses Verhalten ist durch die chemische Natur der gebildeten Gasgemenge ausser Zweifel gestellt.

Fig. 77.



Man verbinde z. B. zwei getheilte Glaszylinder (Fig. 77), welche, der eine mit kohlen-saurem Gas, der andere mit Wasserstoffgas, beide über Quecksilber gefüllt sind, durch eine Glasröhre von etwa 1 Linie Weite. Im Umfange beider Gase, so lange man auch den Apparat sich selbst überlassen mag, wird keine Veränderung eintreten, welche sich nicht aus dem veränderten Thermometer- oder Barometerstande erklären liesse. Lässt man aber nach einiger Zeit und nach Abschluss des Hahns α in beide Behälter Aetzkali eintreten, so wird man finden, dass in beiden genau gleiche Raumtheile Kohlensäure verdichtet werden. Die Vermengung geht indessen nur langsam vor sich und erfordert, um ganz gleichförmig zu werden, wenigstens 5 bis 6 Tage Zeit.

Die atmosphärische Luft ist ein derartiges gleichförmiges Gemenge von Sauerstoff und Wasserstoff. Irgend beliebige andere Gase, die sich nicht chemisch verbinden, verhalten sich auf dieselbe Art. Ihre vollständige Vermischung erfolgt um so schneller, je grösser der Unterschied ihrer specifischen Gewichte und je weiter die Oeffnung, durch welche sie einander übertreten können.

Die Erscheinung der allmählichen Ausbreitung eines Gases in den Räume eines andern hat den Namen Diffusion erhalten. Gase gleicher Spannkraft mengen sich durch Diffusion ohne die geringste Veränderung ihrer Temperatur.

Die Diffusion, als Eigenschaft aller ausdehnungsfähigen flüssigen Körper, die nicht chemisch auf einander wirken, ist von Dalton, wenn nicht zuerst beobachtet, wenigstens mit Sicherheit nachgewiesen, und als Erfahrungsgesetz auf folgende Art ausgesprochen worden: Ein Gas verhält sich gegen das an ihm vorhandene ein leerer Raum. Bei dieser Ausdrucksweise der Erscheinung ist nicht nur das Endresultat nach eingetretener Ruhezeit berücksichtigt, sondern auch kein Aufschluss über den Vorgang selbst oder über die Ursache derselben. — Die Ursache der Diffusion ist das ungleiche specifische Expansivvermögen verschiedenartiger Gase. Werden z. B. zwei Behälter in Verbindung gebracht, von welchen der eine Sauerstoff, der andere Wasserstoff enthält, so ist das Gleichgewicht der Spannkraft beider Gase nicht genügend um einen dauernden Zustand herbeizuführen, weil die abstossende Kraft der kleinsten Theile des Wasserstoffs 16mal so gross ist als die der Sauerstofftheile. Erstere müssen überall wo sie den letzteren angrenzen zwischen denselben eindringen, bis das hierdurch gestörte Gleichgewicht der Spannkraft alsbald wieder hergestellt werden muss, so gelangen auch Theile des Sauerstoffs in den Raum, in dem der Wasserstoff verhalten hatte, und diese Wirkung währt fort, so lange jedes Gastheiligen von allen Seiten her eine gleiche Abstossung erhält, bis eine gleichförmige Durchmischung der verschiedenartigen Gase stattgefunden hat.

Die Diffusion zweier Gase von gleicher Spannkraft von keiner Temperaturveränderung begleitet ist, erklärt sich aus dem von Dulong bewiesenen Gesetze (203), dass gleiche Volume verschiedener, jedoch gleich stark getemperter Gase, während ihrer Ausdehnung gleiche Wärmemengen verschlucken und durch die Verdichtung sie wieder frei machen.

Die festen und flüssigen Körper besitzen die Eigenschaft, wenn

sie mit Gasen in Berührung kommen, einen bald mehr bald wenig grossen Theil derselben auf ihrer Oberfläche zu verdichten. Diese Eigenschaft wird Absorption genannt. Sie zeigt sich bei verschiedenen Körpern zu demselben Gase, und eben so bei ein und demselben Körper zu verschiedenen Gasen in sehr ungleicher Stärke bei festen Körpern am auffallendsten, wenn sie poröse oder pulverförmig sind. Bei keinem Körper scheint sie ganz zu fehlen.

So sehr verschieden die Absorptionsfähigkeit verschiedener Körper ist, findet man doch im Allgemeinen, dass eine gegebene feste oder flüssige Masse von solchen Gasen die grössten Mengen einsaugt, die sich durch äusseren Druck am leichtesten in den flüssigen Zustand zurückführen lassen (siehe Tafel XII). Durch die Stärke ihres Absorptionsvermögens für manche Gase zeichnen sich unter den festen Körpern insbesondere aus: die Holzkohle und mehrere Metalle in fein vertheiltem Zustande, wie Blei und Eisen, deren pulverförmige Oxide durch Wasserstoff reducirt sind, vor allen aber Platin im Zustande als Platinschwärze (aus einer Platin-Chlorür-Lösung durch Weingeist niedergeschlagenes schwarzes Platinpulver). Das letztgenannte Präparat verschluckt nach Bereiner das 250fache seines Volums Sauerstoffgas, und wird in Folge dabei frei werdenden Wärme bis zum Glühen erhitzt. Auch die äusserst fein vertheilte Kohle des Faulbaumholzes, so wie sie zur Pulverfabrikation verwendet wird, absorbiert den Sauerstoff der Luft häufig mit solcher Schnelligkeit und solcher Menge, dass sie sich dadurch entzündet (Auber).

Man leitet die Absorptionserscheinungen von derselben Ursache ab, welche die Flächenanziehung verschiedenartiger fester und flüssiger Stoffe bewirkt, nämlich von einem eigenthümlichen gegenseitigen Anziehungsvermögen (Adhäsionskraft), welches ihre kleinsten Theile, selbst dann, wenn sie nicht fähig sind, bestimmte charakterisirte chemische Verbindungen zu bilden, die einen mit grosserer, die anderen mit geringerer Stärke äussern. Diese Anziehungskraft erschwebt der Oberfläche eines festen oder flüssigen Körpers und einem anziehenden Gase ist stark genug, um dem Expansivvermögen eines Theils des Gases das Gleichgewicht zu halten. Poröse und fein vertheilte Stoffe bieten der anziehenden elastischen Flüssigkeit bei gleicher Masse verhältnissmässig eine bedeutend vergrösserte Oberfläche, also eine grössere Anzahl Berührungspunkte dar. Der Betrag der Absorption muss daher, unter sonst gleichen Umständen, bei porösen Körpern der grösste seyn.

Bei den Flüssigkeiten wird die Porosität durch die grosse Beweglichkeit der Theile ersetzt. Sie ist die Ursache, dass ein absorbirtes Gas, gleich einem gelösten Salze, sich nach und nach durch die ganze flüssige Masse gleichmässig vertheilt, und dass man die Sättigung einer Flüssigkeit mit einem Gase rascher beschleunigen kann, wenn man beide im reinen Zustande zusammen schüttelt. Durch Aufnahme fremdartiger Stoffe kann die Absorptionsfähigkeit eines flüssigen Körpers in auffallendem Grade verändert werden. Z. B. reines Wasser in einer Atmosphäre von reiner Kohlensäure absorbiert von deren Volumen etwas mehr als sein eigenes Volumen; Zuckerwasser nur 0,72 Volume, gesättigtes Kochsalzwasser nur 0,33 Volume und eine Lösung von Chlorcalcium nur 0,15 Volume. Wirft man daher in Wasser, das mit Kohlensäure gesättigt ist, Zucker oder Salz, so muss ein Theil der absorbirten Kohlensäure wieder entweichen. Die Absorption der Gase in tropfbaren Flüssigkeiten wird häufig als Lösung bezeichnet.

232. Man hat gefunden, dass die Menge, welche eine gegebene Flüssigkeit von einem gegebenen Gase absorbiren kann, dem Volumen nach gemessen, bei unveränderter Temperatur, vom Druck unabhängig ist. Z. B. reines Wasser, das bei gewöhnlicher Temperatur und unter mittlerem Atmosphärendruck 1,06 Volume Kol

verschluckt, wird unter jedem anderen Drucke ebenfalls 1,06 aufzunehmen. Die Gewichtsmenge eines absorbirten Gases steht folglich in geradem Verhältnisse zum Drucke. Wasser nimmt bei 10 Atmosphärendruck 10mal so viel, bei Quecksilberstand nur halb so viel Kohlensäure auf, als unter gewöhnlichen Luftdrucke. Im leeren Raume verlieren die Körper alles Gas, welches sie eingesaugt hatten.

Absorptionsfähigkeit fester Körper richtet sich nicht nach dem einfachen Gesetze, wenn schon sie ebenfalls vom äusseren Drucke abhängig ist und mit demselben zu- und abnimmt. Bringt man B. mit Kohlensäure gesättigte Kohle in die Barometerleere, so verliert die Kohle das Gas, womit sie sich gesättigt hatte, zurück, wenn der Druck bis zur Hälfte vermindert wird. Auch scheint es, dass feste Körper nicht alles Gas, welches sie eingesogen hatten, im leeren Raume wieder abgeben.

3. Erwärmen vermindert das Absorptionsvermögen. Durch Erwärmen der Temperaturgrade und gleichzeitiges Behandeln unter der Luftpumpe kann man daher die Körper von einem Gase, welches sie absorbiert hatten, wieder ganz befreien. Bei vielen festen Körpern ist hierzu die Glühhitze erforderlich.

Flüssigkeiten lassen sich darin aufgelöste Gase durch längere Zeit fortwährend Sieden vollständig austreiben. Nur wenn dieses Gas Luft ist, ist Sieden ohne Luftpumpe erforderlich. Von der Oberfläche fester Körper, wie Kohle, auch Glas, entbinden sich Luftblasen in Menge, wenn sie in heisses Wasser getaucht, oder auch in kälterer Flüssigkeit unter die Luftpumpe gebracht werden.

Veränderlichkeit des Absorptionsvermögens mit der Temperatur und mit dem Drucke zeigt, dass die Expansivkraft absorbirter Gase nicht in dem Grade aufgehoben ist, wie dies bei der chemischen Verbindung eines festen Körpers mit einem gasförmigen Stoffe der Fall seyn muss. Man wird daher von der Vorstellung geleitet, dass die absorbirende Kraft auf eine gewisse, wenigstens für unsere Sinne nicht messbare Entfernung hin wirksam ist, und dass gleich der absorbirende Körper sich mit einer Gas-Atmosphäre von abnehmender Dichtigkeit umgibt. Zunächst der festen oder flüssigen Oberfläche, da wo sich die Anziehung am stärksten äussert, ist auch die Dichtigkeit des angezogenen Gases ein Maximum; sie vermindert sich von hier aus in unregelmäßigen Abstufungen, in der Weise, dass an jedem Punkte dieser Atmosphäre, die Spannkraft des Gases im Gleichgewichte steht mit der Stärke der Anziehung, die die Oberfläche ausübt, und mit dem äusseren Drucke. Verändert man den äusseren Druck, so wird der Betrag der Absorption auf einen bestimmten kleinen Werth zurückgeführt, gerade so wie die Luft an der Oberfläche der Erde, ungeachtet der von letzterer ausgehenden Anziehung, durch die Verminderung des äusseren Druckes, fast bis ins Unbegrenzte verdünnt werden kann.

Bringt man einen Körper, der von irgend einem Gase vertheilt ist, in den Raum eines anderen Gases, so verbreitet sich das Gas durch Absorption verdichtete in dem Raume des umgebenden Gases durch Diffusion. Man sagt: es dunstet ab, es vertheilt sich. Der Betrag der Absorption nimmt hierdurch in ähnlicher Weise ab, nur nicht mit derselben Schnelligkeit ab, wie wenn der um-

gebende Raum leer wäre. Dieses Diffusionsphänomen hört n früher auf, als bis die im Zustande der Absorption zurückgeblie Gasmenge, der Spannkraft des frei gewordenen Antheils entspri Hat man z. B. Wasser das mit Kohlensäure bei gewöhnlichem rometerstande b gesättigt ist, in einen verschlossenen Behälter bracht, dessen kubischer Inhalt viermal so gross ist als der Flüssigkeit, und welcher daher mit der letzteren noch drei Vol Luft aufnimmt; so erweitert die aufgelöste Kohlensäure ihren fang von 1,06 auf 4,06 Maasstheile. Davon verbreiten sich Raume der Luft, während 1,06 Theile von gleicher Dichtigte Wasser zurückbleiben. Die Spannkraft der entwichenen Kol säure ist also $\frac{1,06 \cdot b}{4,06}$

Es entweicht um so mehr von einem absorbirten Gase je g ser der umgebende Raum ist, mag dieser nun leer oder mit Luft einem andern luftförmigen Stoffe, der nur nicht von der Beschal heit des absorbirten seyn darf, angefüllt seyn. Bei Flüssigkeiten mit einem Gase gesättigt sind, lässt sich die Diffusion desselbe den Raum eines andern durch Vervielfältigung der Berührungspun befördern; indem man z. B. Kohlensäure haltiges Wasser mit schüttelt, oder indem man den Strom eines andern Gases durch Flüssigkeit leitet, wird das absorbirte Gas rasch ausgetrieben ist nunmehr einleuchtend, dass Gase, die von einem absorbiren Stoffe in einem dem äusseren Drucke entsprechenden möglt grossen Verhältnisse eingesaugt werden sollen, demselben in g reinem Zustande, und unter Umständen dargeboten werden mön wobei der Stoff selbst nicht vorher schon ein anderes Gas auf men konnte.

Wird ein Körper einem Gemenge mehrerer Gase ausgesetzt kann er von jedem derselben höchstens eine solche Menge auf men, welche der Spannkraft des betreffenden Gases für sich gen men entspricht (es müssten denn die durch Absorption verdicht Gase die Fähigkeit besitzen, im Raume des absorbirenden Kör sich chemisch zu vereinigen). Die wirklich absorbirten Men betragen aber meistens weniger, d. h. das Absorptionsverm eines Körpers für ein gewisses Gas wird vermindert, wen gleichzeitig noch ein anderes einsaugen kann, oder von dk anderen bereits aufgenommen hat.

Z. B. Kohle, die an freier Luft gelegen und durch Aufnahme von Sauerstoff, hauptsächlich aber von Wasser, ihr Gewicht um 15—20 Procent mehrt hat, kann dann nur noch 15mal ihr eignes Volum Kohlensäure ein während sie im frisch geblühten und reinen Zustande 35 Volume davon a birt (Saussüre).

Das gewöhnliche Verfahren um feste Körper zu Absorptionsversuche zubereiten besteht darin, dieselben im luftleeren Raum möglichst stark i hitzen, oder dieselben wo-möglich auszublühen und dann unter Quecl abzulöschten. Aus dem Quecksilber gelangen sie unmittelbar in den Raum sich das Gas befindet, welches sie einsaugen sollen.

5. Wenn ein absorbirender Körper die Scheidewand zweier Röhren bildet, dergestalt dass er auf der einen Seite fortdauernd wirkt, während er auf der andern durch Diffusion verloren hat; so ist die endliche Herstellung des Gleichgewichtszustandes, das absorbionsfähige Gas auf beiden Seiten der porösen Scheidewand eine gleiche Spannkraft besitze. Ein Theil dieses Gases dringt daher allmählig durch die Wand, oder wenn beide Röhren absorbirt werden können, findet zwischen denselben ein Gleichgewicht statt.

Ein offener Glaszylinder von 1 bis 1,5 Zoll Weite werde mit nasser Blase bedeckt, die man dann durch Aussetzen an die Luft wieder trocken werden lässt. Man nehme ein gutes Stück Blase gewählt, so zeigt sie sich so luftdicht, dass eine Quecksilbersäule von 3—4 Zoll Höhe in dem Cylinder ihren Stand lang ganz unverändert behauptet. Der Cylinder werde über Quecksilber mit reiner Kohlensäure ganz angefüllt und der innere mit dem äusseren ins Gleichgewicht gesetzt. Nach mehreren Tagen findet man, dass das Quecksilber im Cylinder gestiegen ist und zu steigen fortfährt, bis endlich, voraussetzung eines unbegrenzten äusseren Gasraums alle Kohlensäure im inneren Raume verschwunden ist. Verhältnissmässig geht während dieser Zeit nur sehr wenig Luft durch die Blase in den Raum der Kohlensäure, bis die Beendigung des Versuchs einen Zeitraum von 4—6 Wochen erfordert. Auf demselben Grunde, wie hier das Entweichen der Kohlensäure, beobachtet man von Sommer zuerst beobachtete Entwässerung des Weingeistes, derselbe in Gefässen aufbewahrt wird, deren Oeffnung man mit Blase bedeckt hat. Der im Gefässe gebildete Wasserdampf geht nämlich in trockener Luft sehr leicht durch die Blase, während dieselbe für den Weingeist fast einen fast hermetischen Verschluss bildet. — Allmähliche Verunreinigung von Gasen, welche in Glasgefässen über Quecksilber oder Wasser abgeschlossen sind. — Auch das Entweichen des Wasserstoffs aus den kleinen Luftballons Goldschlägerhaut und Kautschuck gehört zu dieser Klasse von Erscheinungen.

36. Ein poröser Stoff als Scheidewand zweier Gase, welche in etwa ungefähre gleicher Begierde zu absorbiren vermag, lässt das leichtere Gas am leichtesten immer die grösste Menge durch.

Das Verhalten hat zuerst Döbereiner beobachtet; er fand nämlich, dass Wasserstoffgas, in einer gesprungenen Glasglocke über Wasser aufbewahrt, einen Sprung fortging, indem das sperrende Wasser im Glase in die Höhe über den Versuch lässt sich bequemer anstellen und das Resultat nach wenigen Tagen beobachten, wenn man einen Glaszylinder am einen Ende mit einem dicken Stöpsel von Gyps oder Thon verschliesst und dann, mit diesem Gase gefüllt, über Wasser oder Quecksilber gesperrt an der Luft lässt. Ist das innere Gas ebenfalls Luft, so bemerkt man keine Veränderung; das innere Niveau über das äussere gehoben, erniedrigt sich, wenn der Versuch gut zubereitet war (Pogg. Ann. 28. 331.) auf eine erst nach mehreren Tagen bemerkliche Weise. Befindet sich in dem Cylinder ein Gas, das leichter als Luft, z. B. Wasserstoffgas, so beginnt die Sperrflüssigkeit sogleich zu sinken. Ist das eingeschlossene Gas schwerer als Luft, z. B. Kohlensäure, so hebt sich der innere Raum; die Sperrflüssigkeit sinkt.

Findet sich auf der einen Seite der porösen Scheidewand die Luft, auf der andern Seite ein begränkter Raum, der mit Wasserstoffgas oder Sauerstoffgas oder kohlensaurem Gas oder einem andern Gase gefüllt ist, und wird der Druck auf beiden Seiten stets gleich erhalten, so findet von diesen verschiedenen

Gasen gegen die atmosphärische Luft ein Austausch in der Weise statt, dass die für je 1 Volum eingedrungener Luft ausgetretenen Gasmengen sich verhalten wie die Quadratwurzeln aus den spezifischen Elasticitäten der verschiedenen gasförmigen Körper.

Z. B. Für 100 C. C. Luft, die durch einen Gypsstöpsel in einen getheilten Glaszylinder, der Wasserstoff, über Wasser gesperrt, enthielt, eindringen, wand 383 C. C. dieses Gases entwichen. Enthielt der getheilte Cylinder Sauerstoffgas, so waren davon nur 95 C. C. weggegangen; von kohlenisaurem Gas nur

81 C. C. u. s. w. Diese Zahlen verhalten sich aber fast genau wie 1 : $\sqrt{\frac{1}{0,088}}$

$\sqrt{\frac{1}{1,1026}} : \sqrt{\frac{1}{1,5208}}$ oder wie 1 : 3,81 : 0,95 : 0,81, d. h. umgekehrt wie die Wurzeln aus den specifischen Gewichten der betreffenden Gase (206).

Dieses Erfahrungsgesetz ist von Graham entdeckt worden. Es liefert den experimentellen Beweis, dass die Diffusion oder das Eindringen eines Gases in den Raum eines andern eine Folge ist des ungleichen specifischen Expansionsvermögens verschiedener elastisch flüssiger Körper.

VII. Von den Dämpfen.

237. Dämpfe nennt man diejenigen gasförmigen Körper, welche sich aus tropfbaren Flüssigkeiten durch Erhöhung der Temperatur erzeugen lassen und die durch Abkühlung unter ihre Erzeugungstemperatur wieder in den tropfbar flüssigen Zustand zurücktreten (52).

Dass die Dämpfe ihrem Wesen nach zu den Gasen gehören, d. h. dass sie Theile vollkommene Beweglichkeit und Spannkraft besitzen, zeigt am nächsten der Vorgang, den man Sieden nennt. Die aus einer siedenden Flüssigkeit aufsteigenden Dampfblasen unterscheiden sich in nichts Wesentlichem von Gasblasen; auch müssen sie eine derjenigen der äussern Luft gleiche Spannkraft besitzen, weil sie sich sonst nicht unter dem Drucke der Atmosphäre verbinden könnten.

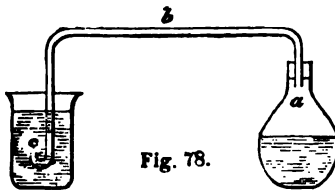


Fig. 78.

Wenn man Wasser in einem Gefässe 'a' (Fig. 78) einige Zeit im Zustande des Siedens erhält, so wird nach und nach durch die aufsteigenden Dämpfe alle Luft aus dem Gefässe verdrängt. Lässt man hierauf die unter fortdauernder Einwirkung der Wärme entwickelten Dämpfe in das des Gasentbindungsrohrs 'a b c' in kaltem Wasser, so werden die bei c austretenden Gasblasen, so wie sie mit der kältern Flüssigkeit in Berührung kommen, augenblicklich wieder in tropfbar flüssigen Wasser verwandelt. Dies geschieht, so lange die Temperatur im Gefässe 'a' nur geringsten unter dem Siedpunkte steht. Hat aber endlich die Flüssigkeit die Temperatur des Siedpunktes angenommen (85), so steigen die entwickelten Wasserdämpfe unverdichtet auf. Lässt man nach der Hand das Gefäss 'a' unter den Siedpunkt erkalten, so können die Dämpfe, welche es anfüllen, dem Luftdrucke nicht länger widerstehen; die Flüssigkeit aus der Vorlage c wird durch das Entbindungsrohr in das Siedgefäss gepresst.

238. Die Siedpunkte tropfbarer Flüssigkeiten, oder diejenigen Temperaturgrade, wobei die Dampfbildung unterhalb der flüssigen

fläche an den erhitzten Gefässwänden vor sich geht, haben früher (53 und Tafel VIII) als feste Temperaturen kennen gelernt. Diess gilt jedoch nur, so lange der Siedeprocess unter einem ebenen und unveränderlichen Luftdrucke vor sich geht. Wird Flüssigkeit unter einem grösseren als dem gewöhnlichen Atmosphärendrucke erhitzt, so bedarf es einer höheren Temperatur, um sie zum Sieden zu bringen; bei abnehmendem Drucke sinkt die Temperatur des Siedpunctes.

Man findet z. B., dass der Siedpunct des Wassers sich mit dem Barometerstande verändert. Bei 324,8'' Barometerhöhe siedet es schon bei 90°, bei 349'' erst bei 101°. (Siehe Taf. XIV.) An der Meeresküste in den Thälern bemerkt man stets einen höheren Siedpunct, als auf den Höhen der Berge. Auf dem Montblanc, bei einem Barometerstande von 43,5 Centimetern brachte Saussüre das Wasser schon bei 85° C. zum Sieden. — Sieden in niedrigen Temperaturen unter der Luftpumpe. Pulshammer. — Füllt man einen Kolben von starkem Glase zum dritten Theile mit Wasser, bringt man ihn über der Spirituslampe zum Sieden, und erhält es einige Zeit in diesem Zustande, bis die Luft grösstentheils ausgetrieben ist, entfernt man dann das Gefäss vom Feuer und verschliesst es mit einem gut anschliessenden Korkstopfen, so dauert der Siedeprocess noch einige Zeit fort, und kann befördert werden, wenn man den Hals des Gefässes abkühlt und dadurch eine fortwährende Verdichtung der aufsteigenden Dämpfe an der kalten Glaswand bewirkt. In diesem Grunde bemerkt man, wenn das ganze Gefäss unter kaltes Wasser taucht, wird, im Anfange ein sehr vermehrtes Aufkochen.

Dämpfe in luftleeren Räumen.

339. Das Wasser und andere tropfbare Flüssigkeiten besitzen bei sehr verschiedenen Temperaturen die Fähigkeit, in den gasförmigen Zustand überzugehen (Expansivvermögen). Aeusserer Druck, z. B. der der atmosphärischen Luft, ist ein Hinderniss am Uebergange; eine Flüssigkeit siedet, wenn ihre Dämpfe unter dem Einflusse der Wärme die erforderliche Spannkraft gewinnen können, um dem Gegendruck von Aussen das Gleichgewicht zu halten. In leeren Räumen bilden sich Dämpfe bei jeder Temperatur, wobei eine Flüssigkeit überhaupt noch verdampfungsfähig ist. Die Dampferzeugung in leeren Räumen findet aber vorzugsweise an der flüssigen Oberfläche statt und ist gewöhnlich mit dem den Siedeprocess bezeichnenden Aufwallen begleitet.

340. Lässt man in die leere Kammer des Barometers bei gewöhnlicher Temperatur eine kleine Menge Wasser (mittels einer gekrümmten Glasröhre (Fig. 79), deren zu einer feinen Spitze ausgezogenes Ende unter das Barometerrohr gebracht wird) eintreten, so wird die Quecksilbersäule durch die gebildeten Dämpfe um einige Linien niedergedrückt, gerade so, als ob eine Luftblase eingedrungen wäre. Die flüssige Säule nimmt indessen sogleich wieder eine feste Stellung ein, bei der sie sich behauptet, so lange die Tem-



peratur unverändert bleibt. Der Unterschied des früh diesen veränderten Stand des Quecksilbers gibt die Span bei der herrschenden Temperatur entwickelten und den des Barometerrohrs ausfüllenden Wasserdampfs (198).

Verschiedene Flüssigkeiten, welche man auf ähnl jede in die leere Kammer eines andern Barometers e wirken bei gleicher Temperatur einen sehr ungleichen N der Quecksilbersäule, d. h. sie erzeugen Dämpfe von 1 ner Spannkraft.

Z. B. bei 15° Temperatur sinkt die Barometersäule durch de Wasserdampfes um 5,96 Par. Lin., durch den Druck des Weingeis 11,29 Lin., durch den des Aetherdampfes um 134,16 Lin.

241. Wenn in dem leeren Raume, worin die Dampf sich geht, Wasser im Ueberschusse vorhanden ist, so r Dämpfe eine gewisse Spannkraft an, welche, so lange t ratur sich nicht ändert, ebenfalls unveränderlich ist. V man den Raum, so bilden sich neue Dämpfe, aber ohn der Spannkraft. Vermindert man den Raum, oder setzt n bildeten Dämpfe einem grösseren Drucke aus, so kehren troppbar flüssigen Zustand zurück.

Dies lehrt der folgende leicht anzustellende Versuch:



Fig. 80. stens 30 — 40 Zoll langes und etwa 4 Linien weites offenes Glasrohr werde in einen Quecksilber-Behälter von entspre (Fig. 80) bis fast an den oberen Rand eingesenkt, der oben das Quecksilber nicht eindringen konnte, mit Aether gefüllt und die Oeffnung luftdicht geschlossen. Wird dieses Rohr allmählich langsam hervorgezogen, so geht das eingeschlossene Gas mit in die Höhe, bis der Druck der gehobenen Luft mehr um die Spannkraft des Aetherdampfes, dem Druck der atmosphärischen Luft das Gleichgewicht halten kann. Z. B. bei der herrschenden Temperatur von 15° und einem Barometerstande würde die gehobene Quecksilbersäule $336 - 134,16 = 202$ gen. So wie diese Grenze erreicht ist, bleibt der Unterschied zwischen dem oberen und unteren Quecksilberspiegeln unverändert, so weit auch das Rohr noch hervorgezogen werden mag, vorausgesetzt nur, dass die Temperatur sich nicht ändert, und dass stets etwas flüssiger Aether in dem Raume bleibt. Durch Erweiterung des Raumes über dem Gas kann also nur die Menge des Dampfes vermehrt, aber die Spannkraft desselben kann nicht geändert worden seyn. Wird das Rohr niedergehen, so vermindert sich der Raum über dem Gas, das Quecksilber steigt, und endlich wird aller Aetherdampf wieder zu flüssigen Aether verdichtet, bevor der Stand des Quecksilbers sich merklich er

242. Von Dämpfen, welche die grösste Spannkraft besitzen, welche sie bei der bestehenden Temperatur annehmen können, sagt man: sie befinden sich im Maximum der Spannkraft oder der Dichtigkeit auch wohl, es sind gesättigte Dämpfe; wenn man den Raum, welchen sie ausfüllen, ohne Erhöhung der Temperatur sich keine neuen Mengen desselben Dampfes annehmen können, dagegen die geringste Verkleinerung dieses Raumes die geringste Abnahme der Temperatur sogleich eine

htung (Verwandlung in den tropfbar flüssigen Zustand) der endenen Dampfmenge zur Folge hat.

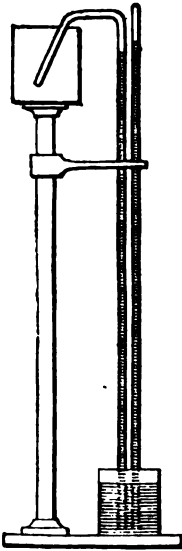
3. Die Spannungs-Maxima, oder grössten Spannkraften aller fe wachsen mit ihrer Erzeugungstemperatur, jedoch in einem ich grösseren Verhältnisse als diese letztere. Es ist bis jetzt gelungen, den Zusammenhang zwischen Temperatur und nskraft auf einfache, aus den Eigenschaften der Dämpfe selbst leitete Gesetze zurückzuführen.

1 die Spannkraft der Dämpfe bei verschiedenen Temperaturen zu messen, 1 sich mehrere Verfahrungsweisen in Anwendung bringen, welche im We- chen auf die folgenden Principien zurückkommen: 1) Man beobachtet die uncte der Flüssigkeit unter verändertem äusseren Drucke. Dieser Druck, em Barometer, oder, wenn der Verdampfungsprocess unter der Luftpumpe ünstlich verringerter Luftspannung vorgenommen wird, mit dem Mano- r (dem verkürzten Barometer) gemessen, gibt die Spannkraft des Dampfes ler beobachteten Siedetemperatur. 2) Man lässt die Flüssigkeit in die leere mer eines Barometers eintreten und bestimmt den Niederdruck der Queck- ersäule durch die bei verschiedenen Temperaturen gebildeten Dämpfe. Dieses fahren ist zuerst von Watt angewendet worden. Es eignet sich, gleichwie das bergehende, nur so lange die Spannkraft der Dämpfe weniger als ein Atmo- sferendruck beträgt. 3) Die zu verdampfende Flüssigkeit befindet sich in einem

81. Gefässe, welches, nachdem alle Luft sorgfältig daraus entfernt worden, luftdicht abgeschlossen ist, so dass auf die Oberfläche der Flüssigkeit nur noch die Spannkraft ihrer eignen Dämpfe wirksam bleibt. Der un- tere Theil des Gefässes communicirt mit einem senkrecht stehenden luftleeren Glasrohr, worin durch den Druck des gebildeten Dampfes eine Quecksilbersäule gehoben wird. Die senkrechte Höhe dieser Säule zeigt unmittelbar die Grösse der Spannkraft des Dampfes. G. G. Schmidt hat dieses Princip zuerst in Anwendung gebracht. Sein Apparat bestand aus einer Art Kugelbarometer (Fig. 81); in den kugelförmigen offenen Behälter desselben wurde die Flüssigkeit eingegossen, erhitzt und so lange kochend erhalten, bis alle Luft aus dem inneren Raume entfernt war; die zu einer feinen Spitze ausgezogene Oeffnung wurde hierauf zugeschmolzen, und der Apparat nach und nach verschiedenen Tem- peraturen ausgesetzt. Wenn das Glasrohr, worin das Quecksilber steigt, hoch genug ist, so kann auf diese Weise die Spannkraft eines Dampfes auch bei höheren Temperaturen, als der des gewöhnlichen Siedpunctes, gemessen werden. Auch kann man zur Bestimmung dieser höheren Spannungen ein Rohr nehmen, das oben offen ist. In diesem Falle ist zu der Steighöhe des Quecksilbers noch der Druck der Atmosphäre hin- zuzufügen. — Befindet sich über dem Quecksilber Luft, welche oben durch das verschlossene Ende des Rohrs, unten durch das flüssige Met- all abgesperrt ist, so wird diese durch die steigende Quecksilbersäule comprimirt. War nun ihre Spannkraft vor dem Beginne des Versuches bekannt, so lässt sich aus dem Grade der eingetretenen Verdichtung der Dampfdruck mit derselben Sicherheit, wie aus der senkrechten Erhe- bung einer Quecksilbersäule ableiten. Vermittelst eines auf dieses Princip gegründeten Apparates und bei Berücksichtigung aller derje- nigen Hilfsmittel, welche die neuere Physik an die Hand gibt, so wie derjenigen Vorsichtsmaassregeln, welche Umsicht und vorgeschrittene esse anriethen, haben Dulong und Arago im Jahre 1828 die Spann- ke Wasserdampfes zwischen 100° bis 224° gemessen. (Pogg. Ann. B. 18, 1) 4) Man kann die Spannkraft des Dampfes auch dadurch bestimmen, un dieselbe gegen ein Kugelventil wirken lässt, durch welches eine Oeff- nung Siedegefäss von bekanntem Umfange verschlossen ist. Dieses Ventil

kann durch aufgelegte Gewichte beliebig belastet und folglich durch des Dampfes nicht eher aufgestossen werden, als bis derselbe bei allnehmender Temperatur eine dem Gegendruck der Gewichte ganz gleich geworden hat. Das zu dergleichen Versuchen zu benutzende Stedeg am besten aus getriebenem Kupfer angefertigt (Papin'scher Tonnysius Papin hat mittelst eines solchen Apparates zuerst experimentirt (im Jahre 1690), dass das Wasser durch Erhöhung der Temperatur eine derjenigen der Luft ähnliche Elasticität annimmt, die sich aber durch Abkühlung wieder verliert. (Recueil de diverses Pièces, touchant quelques Machines etc. par M. D. Papin, Dr. en Médecine, Professeur de physique dans l'université de Marburg. Cassel, 1695.) Im Jahre 1804 hat Arzberger einen ähnlichen Apparat zu einer in der damaligen Zeit geschätzten Arbeit über die Spannkraft hochgespannter Dämpfe benutzt (S. 144. in den *Bücher des polytechnischen Instituts in Wien*, B. 1, S. 144.)

Fig. 82.



244. Bei weitem die grösste Zahl bekannter Untersuchungen über die Spannkraft gesättigter Dämpfe beziehen sich auf Wasserdampf, dessen Spannkraft zwischen 0° bis 224° so ziemlich genau bekannt ist (S. XV). Dass das Wasser auch bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkte, d. h. im Zustande des Eises, Dämpfe bildet, hat Gay-Lussac bewiesen, dass er eine kleine Menge Wasser, die er in das obere umgebogene Ende eines Barometers (Fig. 82) hatte eintreten lassen, in einer Kältemischung umgab. Die Flüssigkeit erstarrte, aber gleichwohl blieb der Quecksilber unter dem dem eines nebenstehenden Barometers, dessen leere Kammer keine Luft enthielt. Zwar befand sich stets ein kleiner Raum über dem Quecksilber in einer verdünnten Umgebung, nämlich der der äusseren Luft, konnte jedoch auf die Grösse der Spannkraft keinen Einfluss haben, weil bei der Herstellung des Gleichgewichtszustandes der oberen Raume überall eine gleiche Spannkraft, folglich diejenige unmittelbar aus dem Eise erzeugten Dampfes herrschen musste.

Die Tafel XV, welche eine Uebersicht der Spannkraft gesättigter Dämpfe bei verschiedenen Temperaturen gibt, ist rein empirisch entworfen und hat lediglich auf den Grund einiger durch Versuche bestimmter Temperaturen, die fehlenden Zwischenglieder durch Probiren eingeschaltet oder durch die hierzu nöthigen Rechnungsformen nennt man Interpolationsformeln, gleichsam künstliche Annäherungen zu dem bis jetzt unbekanntem Grunde nach die Spannkraft eines Dampfes aus der Temperatur desselben bestimmt werden können. Da nun diesen Formeln keine theoretische Vorstellung zu Grunde liegt, so haben sie auch nur Geltung innerhalb der Gränze der Thatsachen, auf welche sie sich stützen. Unter diesen Interpolationsformeln, die man zur Berechnung der grössten Spannkraft von Wasserdampf aufgestellt hat, schliessen sich die folgenden den besten Erfahrungsresultaten am genauesten an.

a) Egens Formel (Pogg. Ann. B. XXVII, S. 9) gewährt eine ziemliche Uebereinstimmung sowohl mit den bei niederen, wie mit den bei hohen Temperaturen beobachteten Resultaten.

Temperaturen gemessenen Spannkraften. $t^{\circ} = 100^{\circ} + 64,29512 \log. e + 13,89179 (\log. e)^2 + 2,909769 (\log. e)^3 + 0,1742634 \log. e)^4$. t° bedeutet die Grade Cels., e die Spannkraft in Atmosphären ausgedrückt.

August's Formel (Pogg. Ann. B. XIII, S. 122) stimmt am besten für niedrige Spannkraften.

$$\log. e''' = \frac{23,945371 \cdot t^{\circ}}{800 + 3 t^{\circ}} + 0,3506555$$

t° bedeutet Grade Cels; e''' gibt die gesuchte Spannkraft in Par. Lin.

Miot's Formel (traité de Physique I, S. 277) für Spannkraften über 20° und unter 100°

$$\log F = 1,8808201 + AN + BN^2 + CN^3$$

Die Spannkraft F wird in Centimetern gefunden. N bedeutet Grade Celsius, wenn man, von 100° als Nullpunkt ausgehend, die fallenden Grade positiv, die steigenden negativ zählt.

$$\text{Es ist } A = -0,01537278757 \quad \log. A = 0,1867526 - 2$$

$$B = -0,00006731995 \quad \log. B = 0,8281441 - 5$$

$$C = +0,00000003374 \quad \log. C = 0,5281451 - 8$$

Von Mallet verbesserte Tredgold'sche Formel, für Spannkraften von 1—4 Atmosphären.

$$100 e = \left(\frac{t + 75}{85} \right)^6; \quad t + 75 = 85 \sqrt[6]{100 e}$$

e bedeutet Meter, t Grade Cels.

Dulong's Formel für Spannkraften über 4 Atmosphären. e bedeutet hier Atmosphären, t Grade Cels.

$$e = (1 + 0,007153 [t - 100])^5; \quad t - 100 = \frac{\sqrt[5]{e - 1}}{0,007153}$$

Mit Dulong's und Arago's Versuchen etwas genauer übereinstimmend ist endlich die folgende von Spasky (Pogg. Ann. B. XXX, S. 331) veränderte Formel

$$e = (1 + 0,00719 [t - 100])^{4,9987}$$

Die vollständige Zusammenstellung aller die Spannkraft des Wasserstoffes betreffenden Formeln findet man in Dove's Repertorium der Physik. S. 48, wo jedoch die Formeln β , γ , δ und ϵ unrichtig eingezeichnet sind.

Aufgabe: Wie verfährt man, um den Druck des Dampfes in Gewichten auszuweisen, wenn derselbe in Atmosphären gegeben ist (196).

Verschiedene Flüssigkeiten bilden, jede bei ihrem Siedpunkte genommen, gleiche Dämpfe von gleicher Spannkraft. So zeigt z. B. Aetherdampf von 34° oder Alkoholdampf von $78,4^{\circ}$ dieselbe Tension wie Wasserdampf von 100° .

Nach einem von Dalton aufgestellten Gesetze hat man früher geglaubt, die Spannungsmaxima der verschiedenartigsten Dämpfe, von den Siedpunkten ihrer Flüssigkeiten ausgehend, für gleiche Zu- oder Abnahme der Temperatur ebenfalls gleich seyen; dass z. B. die Spannkraft des Alkoholdampfes bei 14° — 20° dieselbe sey, wie die des Wasserdampfes bei 100° — 20° . Dieses hat sich jedoch nicht allgemein als richtig bewährt, wenn schon es in manchen Fällen, z. B. bei dem Alkohol und Schwefeläther, der Wahrheit ziemlich nahe kommt, und zu vorläufigen approximativen Bestimmungen wohl verwendet werden kann.

45. Dämpfe, welche von den Flüssigkeiten, woraus sie sich bilden, getrennt und dann über ihre Erzeugungstemperatur erhitzt werden, oder welche man, ohne ihre Temperatur zu ändern und ohne dass neue Dämpfe hinzukommen können, in einen Raum von grösserem Umfange versetzt, folgen dem mariottischen Gesetze so wie dem für die permanenten gasförmigen Körper geltenden.

tenden Ausdehnungsgesetze. Der Zustand eines ungesättig (oder überhitzten) Dampfes ist also innerhalb gewisser Gränzen ein bleibend gasförmiger Zustand.

Beispiel: In das cylindrische Rohr des Nr. 241 beschriebenen Apparats werde eine so geringe Menge Schwefeläther gebracht, dass dieselbe, wenn das Rohr hervorgehoben wird, bald vollständig verdampft, mithin durch die gesetzte Vergrößerung des Raums über dem Quecksilber, zwar der vorübergehende Dampf sich ausdehnen (expandiren), aber keine neue Dampfmenge hineinmen kann; so bleibt die gehobene Quecksilbersäule nicht auf der dem Maximum der Spannkraft entsprechenden Höhe stehen. Angenommen, bei gleichbleibender Temperatur von 15° betrage die gehobene Quecksilbersäule bereits 204 Linien der Druck des Dampfes $336 - 204 = 132'''$ und jede Spur tropfbarkeit sey verschwunden. Man fahre fort, das Rohr aus dem Quecksilberhälter emporzuziehen, bis das Volum des Dampfes sich verdoppelt hat; der Quecksilbersäule wird jetzt $270'''$, daher die Spannkraft des Dampfes

über nur $336 - 270 = 66'''$ oder $\frac{132}{2}$ Linien betragen. Ebenso wird man

dass der Dampf bei dreimal grösserem Volumen nur noch $\frac{1}{3}$ derjenigen Spannkraft, von der man ausgegangen war, beibehalten konnte.

Fig. 83.

Anderes Beispiel: Ein Glasrohr, am einen Ende offen, am andern zugeschmolzen und wie in Fig. 83 abgebildet, werde mit Quecksilber gefüllt. Dann lasse man etwas Aether in den kurzen Schenkel des Rohrs und giesse das flüssige Metall, so weit es den langen Schenkel ausfüllt, wieder aus, was bei der besonderen Gestalt des Rohrs geschehen kann, ohne ein Zurückfließen des Aethers befürchten zu müssen. Taucht man den so hergerichteten Apparat in warmes Wasser von etwas höherer Temperatur, als der Siedepunkt des Aethers, z. B. von 40° , so bilden sich Aetherdämpfe, welche bald den Schenkel des Rohrs ganz ausfüllen und den noch flüssigen Aether zu treten. Die auf diese Weise von ihrer Erzeugungsflüssigkeit getrennten und bis zu 40° erwärmten Dämpfe besitzen nicht das Maximum ihrer Spannkraft, wenn der Quecksilberspiegel in beiden Schenkeln wenig oder gar nicht verschieden ist. Durch Erwärmen des umgebenden Wassers auf 60° , 80° , 100° vergrößert sich der Umfang. Verhindert man aber ihre Ausdehnung durch Zusetzen von Quecksilber in den langen Schenkel des Rohrs, so ergibt sich die Höhe der hierzu nöthigen Quecksilbersäule, dass die Spannkraft des ungesättigten Aetherdampfes bei gleichbleibendem Volumen, bei jeder Temperatur, ganz so, wie die eines permanenten Gases, sich verhält. Hieraus folgt nun, dass auch das Ausdehnungsgesetz der Dämpfe mit dem der permanenten Gase übereinstimmen muss. — Wird der im kurzen Schenkel eingeschlossene und z. B. durch Erhitzen erhitzte Dampf ohne weitere Aenderung seiner Temperatur mit Quecksilber im langen Schenkel des Rohrs bedeckt, so findet man, dass die Volums - Verminderung dem Mariotteschen Gesetze entspricht.

246. Durch Abkühlung und Druck können ungesättigte Dämpfe in den Zustand gesättigter Dämpfe zurückgeführt werden. Wasserdampf von $120,07^\circ$, der eine Spannkraft von nur 1 Atmosphärendruck besitzt und folglich (siehe Taf. XV) das Maximum seiner Dichtigkeit bei dieser Temperatur noch nicht erreicht, verwandelt sich in einen gesättigten Dampf, wenn er bis 100° abgekühlt, oder ohne Aenderung der Temperatur, einem drückenden

te ausgesetzt und dadurch auf die Hälfte seines anfänglichen als verdichtet wird. Wäre die anfängliche Temperatur des un-
 Drucke der Atmosphäre befindlichen Dampfes $134,02$ ge-
 n. so würde er erst durch Verdichtung auf ein Drittheil des
 gleichen Volums seine grösste Spannkraft annehmen. Man
 hieraus, dass die mit der Temperatur wachsende Maximums-
 kraft eine unmittelbare Folge davon ist, dass diejenige Dich-
 , wobei ein Dampf noch fähig ist, sich in der Gasform zu
 en, mit der Temperatur zunimmt.

vorzugsweise sogenannten permanenten Gase behaupten
 als nur innerhalb gewisser Gränzen den Gaszustand (199)
 erhalten sich also ganz wie ungesättigte Dämpfe. So ge-
 z. B. schwefligsaures Gas, unter 1 Atmosphärendruck bei
 , unter 3 Atmosphärendruck schon bei $+ 12,05$ auf die Gränze
 gasförmigen Zustandes. Kohlensaures Gas muss bis zu
 abgekühlt werden, um unter dem gewöhnlichen Atmosphären-
 eine Maximums-Spannkraft annehmen zu können.

Dämpfe gemengt mit Gasen; Verdunstung.

7. Die Dämpfe besitzen die Eigenschaft, sich im Raume per-
 unter Gase in ähnlicher Weise auszubreiten wie permanente
 unter einander. Lässt man z. B. Wasser-, Alkohol- oder
 r-Dampf in die Luft ausströmen, so vertheilt er sich, gleich
 ausströmenden Gase, mit grosser Schnelligkeit und nach
 Richtungen. Die atmosphärische Luft enthält, wie man weiss,
 er Zeit und bei jeder Temperatur Wasserdämpfe in grosser
 s.

8. Wasser oder jede andere Flüssigkeit, die fähig ist, Dämpfe
 den, der freien Luft ausgesetzt, verliert allmählig von ihrem
 the. Bringt man eine mit Wasser gefüllte Schale unter eine
 locke, die Luft oder irgend ein anderes Gas enthält, und stellt
 neben diese Schale ein Gefäss mit concentrirter Schwefel-
 welche bekanntlich die Eigenschaft besitzt, die Wasser-
 e aus der Luft anzuziehen und sich dadurch zu verdünnen;
 d man nach einiger Zeit finden, dass die Säure Wasser auf-
 umen und dass dabei ihr Gewicht um eben so viel sich ver-
 ert hat, als das des Wassers in der Schale sich verminderte.
 issigkeiten bei Temperaturen, wobei sie Dämpfe zu erzeu-
 rmögen, der Luft ausgesetzt, verhalten sich also, wie wenn
 en gasförmigen Körper, nämlich ihren eignen Dampf, durch
 tion verdichtet, enthielten.

se Eigenschaft tropfbarer Flüssigkeiten, im Raume der Luft
 nderer Gase ganz unabhängig vom äusseren Drucke und
 ohne die Mitwirkung künstlicher Erwärmung zu verdampfen,

wird Verdunstung genannt. Die Ursache der Verdunstung Wesentlichen dieselbe wie die der Diffusion permanenter

249. Wenn eine Flüssigkeit in einem Gasraume von be- Grösse im Ueberschusse vorhanden ist, so verdunstet ei eben so grosser Theil derselben, als bei derselben Temp demselben Raume, luftleer gedacht, in die Dampfform hã gehen müssen; und der so gebildete Dampf, für sich be besitzt eine genau eben so grosse Spannkraft, als er bei d Temperatur im leeren Raume annehmen würde. Die Sp eines Gemenges von Gas und Dampf ist folglich gleich de der Pressungen, welche das Gas, wenn es bei unveri Raume allein vorhanden wäre, und der Dampf, wenn er a handen wäre, ausüben würden.

Fig. 84.



In einem doppelschenklichen Glasrohr, wie Fig. 84 geb- sen kurzer Schenkel in gleiche Unterabtheilungen gebracht *a* geschlossen ist, werde ein beliebiges Volum *a b* trocken- telst Quecksilbers abgesperrt. Man messe die Spannkraft (geschlossen Luft, giesse sodann Quecksilber in den offen- kel, bis er fast angefüllt ist, fülle ihn gänzlich mit Aether mit dem Finger und lasse durch passende Neigung des Aether in den Raum *a b* so eintreten, dass von der abgespe nichts entweichen kann. Lässt man endlich von dem eing Quecksilber wieder so viel abliessen, bis das frühere Luft sich wieder hergestellt hat, so wird man finden, dass sich Spannkraft genau um so viel vermehrt hat, als das Spannung des Aetherdampfs bei der bestehenden Temperatur und im Raume ausmacht. Durch Erhöhung der Temperatur, bei un- äusseren Drucke, würde die eingeschlossene trockne Luft den Raum *a c* einnehmen. Regulirt man die Quecksilber offenen Schenkel, so dass das Volum *a c* sich wirklich be misst dann den Stand des Quecksilbers, so findet man auch inneren Druck gleich demjenigen der Luft für sich, vermeh Spannungsmaximum des Dampfes für die nunmehr veränder ratur. Sucht man die Temperatur des eingeschlossenen Gas beständig zu erhalten, verändert aber die Höhe der Quecks im offenen Schenkel, indem man von dem flüssigen Metall oder davon abliessen lässt, so wird sich stets ergeben, gleichzeitig veränderte innere Gasvolum sich zu dem auf Volum *a b* verhält, umgekehrt wie die anfängliche Span eingeschlossenen trocknen Luft zu der zuletzt gemessen kraft, nachdem das Spannungsmaximum des Dampfes da- zogen worden. Die Dichtigkeit des mit der Luft gemengte

dampfes ändert sich also nicht, so lange die Temperatur beständig blei Veränderungen auch das Volum *a b* erleiden mag. Jede Erweiterung (lums hat mithin die Bildung neuer Dämpfe zur Folge, jede Vermin- d wirkt, dass ein verhältnissmässiger Theil des vorhandenen Dampf tropfbar flüssigen Zustand zurückgeführt wird, ganz so, wie es im leei geschieht. — Mit demselben Erfolge würde man statt des Aethers h andere Flüssigkeit, oder statt der Luft ein anderes permanentes (wählen können.

Dämpfe und permanente Gase, vermengt, bestehen also ganz u von einander, gerade so, als wäre jedes in dem gegebenen Raume a handen. Dieses Erfahrungsgesetz, da es für gesättigte Dämpfe wahr um so mehr für ungesättigte Geltung haben; eine Ausnahme erleidet

nt, nur dann, wenn ein gasförmiger Körper mit einem Dampfe eine feste
sche Verbindung einzugehen vermag. Z. B. salzsaures Gas, mit Wasser-
gemenzt, verdichtet sich damit zu flüssiger Salzsäure.

hier glaubte man, verdunstende Flüssigkeiten lösten sich in der Luft auf,
wie Salze im Wasser, und hielt demnach die Verdunstung für eine che-
Aktion. Der Ausdruck: mit Dampf gesättigte Luft rührt aus jener
r. Diese Ansicht musste aufgegeben werden, nachdem Delüc gezeigt
lass die Spannkraft der Dämpfe in leeren, gleich wie in von Gas erfüllten
n nur von der Temperatur abhängt, und nachdem man durch das von
n entdeckte Gesetz des Verhaltens gasförmiger Körper gegen einander
lüssel zu einer ungleich befriedigenderen Erklärung der Verdunstungs-
mene gefunden hatte.

0. Wenn schon die Dampfbildung in der Luft nach demselben
ze vor sich geht, wie im leeren Raume, und zuletzt auch im-
u demselben Resultate führen muss, so findet doch hinsicht-
er Zeit eine grosse Verschiedenheit statt.

luftleeren Raume erheben sich die Dämpfe von jedem Punkte
issigen Oberfläche mit einer von ihrem eigenthümlichen Ex-
r-Vermögen allein abhängigen Geschwindigkeit. Wasser-
f. z. B. entwickelt sich, je nach der Temperaturhöhe, mit einer
windigkeit von 1600—1800 Fuss in der Sekunde und er-
daher in einem geschlossenen, luftleeren Gefässe fast
blicklich das Maximum seiner Dichtigkeit. Die Luft widersetzt
dieser schnellen Ausbreitung des Dampfes, mehr oder weniger
ach dem Grade ihrer Dichtigkeit. Die Verdunstung geht daher
allend langsamer vor sich als die Dampfbildung im leeren
Ra.

Fig. 85.



Man verschaffe sich zwei, wie Fig. 85 gebogene, 6 bis
8 Linien weite und an beiden Enden zugeschmolzene Glas-
röhren, von welchen die eine luftleer, die andere mit Luft
gefüllt ist, und die beide ungefähr gleiche Mengen Wasser
oder Alkohol enthalten. Diejenigen Arme beider Röhren,
worin sich die Flüssigkeit befindet, stelle man neben ein-

in warmes Wasser, während der übrige Theil dem abkühlenden Einflusse
ist ausgesetzt bleibt. In dem luftleeren Rohr wird die Flüssigkeit in un-
kürzerer Zeit, als in dem lufthaltigen, überdestilliren.

51. Im Allgemeinen verdunsten die Flüssigkeiten um so
er, je grösser die Spannkraft ihrer gesättigten Dämpfe bei
erscheidenden Temperatur. — Aether, Alkohol, Wasser-Wärme
dert die Verdunstung, weil sie die Expansivkraft der Dämpfe
ehrt.

as Bestreben einer Flüssigkeit, zu verdunsten, nimmt ab, je
der umgebende Raum bereits mit ihren Dämpfen gesättigt
id hört ganz auf, sobald die gebildeten Dämpfe ihre grösste
igkeit erreicht haben. Durch Erwärmung wird daher die Ver-
ng nicht nur beschleunigt, sondern auch der Effect derselben
essert.

e Gewässer auf der Oberfläche unserer Erde, feuchter Boden
lle nassen Körper verdunsten bei jeder Temperatur. Sogar
is verdunstet, denn in trockner, wenn auch noch so kalter

Luft verliert es allmählig von seinem Gewichte. Trockner Wind beschleunigt die Verdunstung, indem er durch fortdauernden Wechsel des mit der verdunstenden Flüssigkeit in Berührung stehenden Luftraums den Eintritt des Sättigungspunctes hindert. Aber auch bei ruhiger Luft wird die Verdunstung selten ganz unterbrochen, weil die Dämpfe das specifische Gewicht der Lufttheile, womit sie sich mengen, vermindern und dadurch ein allmähliges Erheben derselben bewirken.

Austrocknen feuchter Körper durch Aussetzen an die Luft. Salzgradirte müssen eine Lage erhalten, in welcher sie dem Zudrange trockner Winde möglichst ausgesetzt sind. — Im Inneren benetzte Gefässe, Glasröhren, lassen sich durch Wärme allein, zumal wenn sie enge Ausmündungen haben, nicht austrocknen; wenn man aber die innere Luft wiederholt mit trockner vermischt und gleichzeitig erwärmt, so wird bald jede Spur von Feuchtigkeit entfernt.

In ganz offenen Gefässen, in welchen der Wechsel der Luft durch nichts gehindert ist, bilden sich aus dem Wasser und selbst aus Flüssigkeiten von geringerer Flüchtigkeit, z. B. aus Salpetersäure von 1,42 specifisches Gewicht, die erst bei 120° siedet, aus dem erst bei 156° siedenden Terpentinöl u. s. w. bei Temperaturen weit unter dem Siedpuncte Dämpfe in reichlicher Menge, während die Verdunstung in, wenn auch nur lose bedeckten Gefässen fast ganz unterbrochen wird. — Aus demselben Grunde lässt sich kohlen-saurer Kalk in bedeckten Gefässen, selbst bei der heftigsten Glühhitze nicht kautistisch machen, wird aber die Kohlensäure, wie sie sich entbindet, sogleich durch einen Gasstrom fortgeführt, z. B. durch Erhitzen im offenen Feuer, so kann die Schwierigkeit vollständig ausgetrieben werden.

Specifisches Gewicht der Dämpfe.

252. Der Rauminhalt der Dämpfe steht zu dem der Flüssigkeiten, woraus sie sich bildeten, in keinem, durch ein bis jetzt bekanntes Gesetz ausdrückbaren Zusammenhange. Doch bemerkt man leicht, dass die Dämpfe, verglichen mit ihren Erzeugungs-Flüssigkeiten, stets einen sehr grossen Umfang einnehmen. So erhält man unter dem gewöhnlichen Luftdrucke und bei 100° C aus 1 K. Z. Wasser 1700 K. Z. Wasserdampf; aus 1 K. Z. Alkohol 658,5 K. Z. Alkoholdampf; aus 1 K. Z. Aether 408 K. Z. Aetherdampf. Die Dichtigkeit der Dämpfe ist also wie die der permanenten Gase, unter gewöhnlichen Verhältnissen sehr gering.

Das Verhältniss des Rauminhaltes eines Dampfes zu seinem Gewichte und daraus sein specifisches Gewicht kann ausgemittelt werden, entweder indem man eine abgewogene Menge Flüssigkeit sich in Dampf verwandeln lässt, und bei einer bestimmten Temperatur und unter bestimmtem Drucke das Volum desselben misst, oder indem man den Dampf selbst wiegt, welcher ein Gefäss (z. B. eine Glaskugel) von bekanntem Inhalte, bei einer bestimmten Temperatur und unter bestimmtem Drucke ausfüllt.

Nach der ersten Methode hat zuerst Gay-Lussac die Dichtigkeit der Dämpfe des Wassers, Alkohols, Aethers und Schwefelkohlenstoffs bestimmt, indem er kleine, vor der Lampe angefertigte Blasen von sehr dünnem Glase, die er zur prüfenden Flüssigkeit anfüllte, und auf diese Weise im Stande war, die

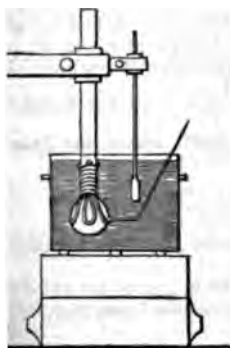
Menge der letzteren in dem inneren Raume eines mit Quecksilber theilten Glascyllinders aufsteigen zu lassen. Wurde dieser hierauf Wasser umgeben, so erwärmt sich die in den kleinen Glasblasen eine Flüssigkeit, zersprengte die dünne Hülle und verwandelte sich in dem das Quecksilber herabgedrückt wurde. Der Raum des gebildeten Dampfes führte unmittelbar zu dem gesuchten Verhältnisse. Eine Beschreibung dieses Verfahrens, das sich jedoch nur auf leicht verflüchtigen anwenden liess, findet man in Biot's traité de phy-

Die Methode gestattet, bei etwas geringerer Genauigkeit, eine weit Anwendung. Sie ist zuerst von G. G. Schmidt, später in sehr vereinfachter Weise von Dumas in Ausführung gebracht worden, und bildet ein werthvolles Hilfsmittel des Chemikers, um die durch chemische Analyse gefundene Zusammensetzung mancher Stoffe, insbesondere organischer Verbindungen, einer scharfen Controle zu unterwerfen.

Der Kolben von 300—500 C. C. Inhalt wird mit Beihülfe der Luftpumpe (Calcium enthaltend) mit trockner Luft gefüllt, hierauf nahe wie möglich am Bauche des Kolbens zu einer 6—8 Zoll langen Röhre ausgezogen und diese wie in Fig. 86 gebogen. Das Gewicht des so hergerichteten Gefäßes, mittelst einer feinen chemischen Wage bestimmt, sey P, bei einem Barometerstande von b''' und der Temperatur t° .

Man lasse einen Ueberschuss der zu verdampfenden Flüssigkeit (höchstens 10 Grm.) eintreten, indem man durch mässiges Erwärmen des Glases einen Theil der innern Luft austreibt, dann die Spitze des ausgezogenen Halses in die Flüssigkeit taucht, worauf diese beim Erkalten eingesogen wird. Um die Luft zu bewerkstelligen, setzt man den Glaskolben einer erhöhten, gleichförmig einwirkenden Temperatur aus, die nach und nach bis 10° über den Siedpunkt der Flüssigkeit gesteigert werden muss. Hierzu am besten ein Bad, nach Erforderniss von Wasser, Chloroform, Chlorzinklösung, concentrirter Schwefelsäure, leicht schmelzbarer Metall-Legirung u. s. w., worin der Kolben etwa so, wie Fig. 87 zeigt, festgehalten wird. Die im Ueberschusse gebildeten Dämpfe entweichen mit Geräusch durch die enge Oeffnung des aus dem Bade hervorragenden Halses und reissen die Luft grösstentheils mit fort. Wenn keine Dämpfe mehr ausströmen, also die innere Spannung sich mit der äusseren in's Gleichgewicht gesetzt hat, was man am sichersten daraus erkennt, dass der Feuchtigkeitsniederschlag an der engen Ausmündung des Kolbens sich nicht mehr vermehrt; wenn dann durch Annähern einer glühenden Kohle alle noch anhängende Flüssigkeit vollständig entfernt ist, wird die feine Spitze mittelst des Löthrohrs zugegeschmolzen. Zugleich merkt man den Barometerstand (B) und die Temperatur des Bades (C).

Fig. 87.



Die Temperatur des Bades gegen Ende des Versuchs hin möglichst hoch zu halten; ein gutes und empfindliches Thermometer ist deshalb in die Flüssigkeit eingesenkt. Der Glaskolben wird nun aus dem Bades genommen, gereinigt, getrocknet, und wenn er erkaltet ist, von Neuem in das Bades eingetaucht. Das gefundene Gewicht werde durch Q bezeichnet.

Es bleibt noch der Rauminhalt des Kolbens ausfindig zu machen. Zu Ende wird die Spitze desselben unter reinem, möglichst luftfreiem Wasser Quecksilber abgebrochen; die Flüssigkeit dringt ein und füllt den inneren ganz oder beinahe ganz aus. Zum drittenmal gewogen, findet man R Grm bei einer Temperatur von t'' .

Gewöhnlich zeigt sich ein kleiner Lufrückstand über dem eingedrungenen Wasser. Um den Umfang desselben zu erhalten, muss der Kolben mit V ganz angefüllt und nochmals gewogen werden. Angenommen, das R dieser letzten Wägung sey S Grm.

Es kommen also im Ganzen vier Wägungen vor, aus welchen die Dichte des Dampfes auf folgende Art abgeleitet werden kann.

Aus dem Unterschiede der dritten und zweiten Wägung erhält man das Gewicht des Wassers :

$$W = R - Q; (\alpha)$$

welches an die Stelle der ausgeströmten Luft eingedrungen ist. Mit Berücksichtigung der Dichtigkeitstabelle des Wassers (Tafeln, S. 15) findet man aus durch einfache Multiplikation von W mit der der Temperatur des V entsprechenden Zahl in der zweiten Spalte das Volum v der entwickelten trocknen Luft bei t'' und unter b'''' Druck.

$$\begin{aligned} \text{Es wiegen (204) 1000 C. C. Luft bei } t'' \text{ und } b'''' \text{ Druck } & \frac{1,2991 \cdot 273}{(273 + t'')} 330 \\ = \frac{1,0527 \cdot b}{(273 + t'')} \text{ grm.}; \text{ daher das Gewicht von } v \text{ C. C. Luft bei } t'' \text{ und} & \\ b'''' \text{ Druck} & \end{aligned}$$

$$l \text{ grm.} = \frac{1,0527 \cdot b \cdot v}{1000 \cdot (273 + t'')} ; (\beta).$$

Das Gewicht der trocknen Luft (l), von der ersten Wägung (P) abgezogen, gibt das Gewicht des leeren Gefässes; und dieser Unterschied (P - l) von der zweiten Wägung (Q) abgezogen, führt zu dem Gewicht des Dampfes:

$$D \text{ grm.} = Q - P + \frac{1,0527 \cdot b \cdot V}{1000 (273 + t'')} ; (\gamma).$$

Aus dem Unterschiede der vierten und dritten Wägung (S - R) findet man das Volum der im Gefässe zurückgebliebenen Luft, bei der Temperatur des Wassers. Diese Luftmenge darf nur einen kleinen Bruchtheil des ganzen Raumes ausmachen. Sie hatte sich bei der Erwärmung von t' zu T im Verhältnisse von $273 + t'$ zu $273 + T$ ausgedehnt, und um diese Ausdehnung

grösse, nämlich um den Werth $\frac{(S - R) (T - t')}{273 + t'}$, ist das Volum des Dampfes kleiner als das der ausgestretenen trocknen Luft. Daher das Volum v des Dampfes bei T und unter B'''' Druck:

$$v = v' - \frac{(S - R) (T - t')}{273 + t'} ; (\delta).$$

Beispiel: Eine experimentelle Untersuchung über die Dichtigkeit des Dampfes führte zu folgenden Angaben:

Der luftgefüllte Glaskolben wog: P = 106,951 grm. bei 24° und 33

Dasselbe Gefäss, bei 185° und 335,57'''' mit dem Dampfe gefüllt, wog 110,025 grm.

Dasselbe Gefäss, sammt dem darin befindlichen Jod, mit Wasser so weit gefüllt, als ein Ueberrest von Luft es gestattete, wog: R = 664,

664,550 grm. erhalten.

Hieraus findet man $W = R - Q = 554,459$ grm., und da l grm. W bei 22° = 1,002022 C. C., so ergibt sich:

Das Volum der entwickelten trocknen Luft $v = 554,459 \times 1,002022 =$

Das Gewicht dieser Luftmenge beträgt $l = \frac{1,0527 \cdot 335,57 \cdot 555,580}{1000 (273 + 24)} = 0,661$ grm.

Ungleich das Gewicht des Dampfes $D = Q - P + l = 3,735$ grm.

Die kleine Menge zurückgebliebener Luft hatte bei 22° einen Umfang von $R = 0,066$ C. C. und ihre Volumserweiterung durch Erwärmung auf 185° betrug $0,036$ C. C.

Das Volumen von $3,735$ grm. des Dampfes bei 185° und unter $335,57$ mm Druck:
 $V = 555,580 - 0,036 = 555,44$ C. C.

Könnten bei diesen Rechnungen noch einige Berichtigungen in Anwendung kommen, insbesondere wegen des mit der Temperatur veränderlichen Inhaltes des Glasgefäßes (59), so wie wegen der bei hohen Temperaturfehlerhaft werdenden Anzeigen des Quecksilberthermometers (72). Mit Rücksicht hierauf würde man z. B. $557,66$ für das Volumen des Joddampfes erheben und die Temperatur von 185° würde sich in $182,96$ verwandeln. Die durch diese Verhältnisse erzielte grössere Genauigkeit des Resultates würde jedoch gewöhnlich durch die scheinbare Genauigkeit der beschriebenen Versuchsmethode durch die unvermeidlichen Beobachtungsfehler keineswegs zwischen den Grenzen eingeschlossen sind. — Uebrigens wird nachher gezeigt werden, dass die hier angenommene annähernde Genauigkeit für den Zweck des Cheffast immer ausreicht. Aus diesem Grunde kann auch die Berichtigung der Ausdehnung der dem Dampfe beigemengten Luft, wenn das Volumen so wenig oder nicht viel mehr beträgt, wie in obigen Beispiele, vernachlässigt werden.

13. Wenn das Verhältniss des Gewichtes zum Rauminhalte des dampfförmigen Körpers nur für eine einzige Spannung und einzige Temperatur bekannt ist, so lässt sich dasselbe für beliebige andere Temperatur oder Spannkraft, wobei der Körper die Gasform beibehalten kann, durch Rechnung finden.

Sei D das Gewicht, V das entsprechende Volumen eines Dampfes für die Temperatur T° und den Druck von B'''' , also $\frac{D}{V}$

das Gewicht von 1 C. C. Dampf, so erhält man (204) für irgend eine andere Temperatur t° und einen andern Druck e'''' , das Gewicht d von 1000 C. C. Dampf: $d = \frac{1000 (273 + T) e}{(273 + t) B} \cdot \frac{D}{V}$; oder

das Volumen v einer Einheit des Gewichtes (z. B. 1 Grm.) unter denselben Bedingungen entsprechende Volum $v = \frac{(273 + t) B}{(273 + T) e} \cdot \frac{V}{D}$

Beispiel: Man erhält von 1 Grm. Wasser, bei 100° und unter $336,9$ mm Atmosphärendruck und bei $120,69^\circ$ des hunderttheiligen Thermometers: $\frac{1000 \cdot 336,9 \cdot 1}{(273 + 100) \cdot 1} \cdot \frac{1}{1700} = 1,1146$ grm.

Man findet man mittelst der zweiten Formel, dass 1 Grm. Wasser bei 100° und unter 2 Atmosphärendruck 897 C. C. Dampf bildet. Im Allgemeinen

ist der Umfang von 1 Grm. Wasserdampf $v = \frac{4,55764 (273 + t)}{e}$, wo e

den Atmosphärendruck vorstellt.

Die Rechnung setzt voraus, dass die Gesetze der Ausdehnung und Zusammenziehung durch Wärme und Druck für Gase und Dämpfe ganz gleiche gelten; eine Annahme, die zwar annähernd richtig, in aller Strenge jedoch nicht bewiesen und bei den Dämpfen, wenigstens in der Nähe ihrer

Sättigungspuncte nicht einmal wahrscheinlich ist. Die auf die angegebene Weise berechneten Gewichte der Dämpfe können daher nur als Annäherungen zur Wahrheit betrachtet werden.

254. Um die Dichtigkeit der Dämpfe unter einander und mit derjenigen der Gase bequemer vergleichen zu können, pflegt man sie, wie die der letzteren, auf den Barometerstand von 336,9^{mm} und auf den Schmelzpunct des Eises zu beziehen, ohne darauf Rücksicht zu nehmen, ob ein Dampf unter diesen Umständen wirklich bestehen könne (Tafeln, S. 17). Denn die so gefundenen Zahlenwerthe bezeichnen zugleich für jede andere Pressung und Temperatur, und folglich auch für solche, wobei ein Dampf wirklich bestehen kann, das Verhältniss seiner Dichtigkeit zu derjenigen der Luft, in so fern nur beide gleichzeitig, unter demselben Druck und derselben Temperatur sich befindend, vorausgesetzt werden (204).

So findet man z. B. das Gewicht von 1000 C. C. Joddampf bei 0° und 336,9^{mm} (zu vergleichen das Beispiel in Nr. 252) $\frac{1000 \cdot 458 \cdot 335,57}{273 \cdot 336,9} \cdot \frac{3,735}{555,44} = 11,237$ gm

Das spec. Gewicht des Joddampfes, bezogen auf die Luft, beträgt hiernach $\frac{11,237}{1,2991} = 8,716$, was für eine Temperatur und was für ein Druck es nun auch sein mag, welchen dieser Dampf und die Luft gleichzeitig unterworfen sind.

255. Die Richtigkeit der specifischen Gewichts-Bestimmung eines Dampfes kann auf dieselbe Weise wie die Richtigkeit der Gaswägungen durch Rechnung geprüft werden; und diese Controlen gründet sich ganz auf dieselben, bereits in Nr. 205 erörterte Erfahrungsgesetze. Man gewinnt hierdurch ein Mittel, die bei der direkten Bestimmung specifischer Gewichte nicht zu vermeidend Beobachtungsfehler mit einer Sicherheit zu berichtigen, welche eben so gross ist, als der bei chemischen Untersuchungen gewöhnlich erreichbare Grad der Genauigkeit.

Wie man hierbei zu verfahren habe, wird sich am deutlichsten aus einigen Beispielen ergeben. Das specifische Gewicht des Joddampfes wurde = 8,71 gefunden. Nun gibt das Aequivalent des Jods (1579,50), auf die Luft bezogen, d. h. mit 1,1026 (dem spec. Gew. des Sauerstoffs) multiplicirt durch 100 dividirt, die Zahl $\frac{1579,50 \cdot 1,1026}{100} = 17,402 = 2 \cdot 8,701$. Die Zahl

8,701 bezeichnet folglich das berichtigte spec. Gewicht des Joddampfes.

Das Aequivalent des Schwefels (201,17) mit 1,1026 multiplicirt und mit 100 dividirt, verwandelt sich in die Zahl 2,218. Die direkte Wägung des Schwefeldampfes lässt das spec. Gewicht desselben ungewiss zwischen 6,51—6,54 sein wahres spec. Gewicht muss daher $2,218 \cdot 3 = 6,654$ betragen.

Das beobachtete spec. Gewicht des Wasserdampfes ist 0,6235. Das Wasser enthält 1 Vol. Sauerstoffgas = 1,1026, verbunden mit 2 Vol. Wasserstoffgas = $2 \times 0,0688 = 0,1376$ zu

1,2402 Gewichtstheilen Wasser, welche 1¹ Dampf entsprechen; denn $\frac{1,2402}{0,6235}$ gibt beinahe die Zahl 2; $\frac{1,2402}{2} = 0,6201$

folglich das genaue spec. Gewicht dieses Dampfes.

Der Schwefeläther ist eine Zusammensetzung von 4 Aequivalenten Kohl

ivalenten Wasserstoff und 1 Sauerstoff, welche zusammen 465,818 Theile bilden. Diese Zahl mit 1,1026 multiplicirt und durch 100 dividirt, ist das spec. Gewicht des Aetherdampfes, bezogen auf die Luft als Einheit. Das spec. Gewicht des Aetherdampfes, 2,586, ist ungefähr 2 mal in dieser Zahl, woraus man sieht, dass die Bestandtheile von je 5,136 Theilen Sauerstoff und 1 Vol. Sauerstoff enthalten, sich zu 2 Vol. Aetherdampf verhalten.

Der Wasserdampf als Betriebskraft.

Der bedeutenden Umfangsvergrößerung des Wasserdampfes in den dampfförmigen Zustand, so wie auf der andern Seite gesättigter Dämpfe, durch Abkühlung sogleich in den flüssigen Zustand zurückzutreten, beruht die Anwendung des Wasserdampfes als bewegende Kraft.

In ein Glasgefäß (Fig. 88), das mit Wasser ganz angefüllt ist, sind mittelst eines doppelt durchbohrten Korks zwei Glasröhren eingelassen. Die eine geht vom Boden des Gefäßes bis zu beliebiger Höhe senkrecht aufwärts. Die andere mündet unmittelbar unter dem Stöpsel in das Gefäß ein, ist oberhalb umgebogen und leitet senkrecht abwärts zu einem Wasserbehälter. Beide Röhren sind verschliessbar. Das Rohr *ab* sey bei *a* durch einen Hahn geschlossen, *cd* offen; man erhitze das Wasser, so werden sich bei irgend einem Temperaturgrade Dämpfe erzeugen, welche vermöge ihrer Spannkraft auf die Flüssigkeit drücken und dieselbe nöthigen, im Rohr *cd* aufzusteigen und oben auszufließen. Gesetzt, dieses Rohr sey 250 Centimeter oder ungefähr 8 Fuss hoch (1000 Centim. ist beiläufig die Höhe einer Wassersäule, die dem Drucke der Atmosphäre das Gleichgewicht hält), so muss sich, um das Wasser zum Ausfluss zu bringen, ein Dampf von $1\frac{1}{4}$ Atmosphärendruck bei $106^{\circ},36$ Temperatur bilden. Dampf von dieser Beschaffenheit hat den 1383 mal so grossen Umfang, als ein gleiches Gewicht Wasser. Beträge der Inhalt des Gefäßes 1383 C. C., so kann man das Wasser, durch Umwandlung in Dampf, gerade hin den Rest der im Gefässe enthaltenen Flüssigkeit auf die Höhe *ab* zu treiben. Man schliesse nun das Rohr *cd* mit dem Hahne *d*, öffne den Hahn *a*, und lasse das Gefäß, etwa mit kaltem Wasser, sich abkühlen. Hierdurch entweicht ein beinahe leerer Raum; daher steigt das Wasser im Behälter im Rohr *ab*, und wird, wenn die Höhe *ab* nur etwas weniger als 1000 Centim. beträgt, in das Gefäß eindringen und dasselbe wieder anfüllen. Durch 1 Grm. Wasser, das sich in Dampf von 1,25 Atmosphärendruck verwandelt, also 1382 Grm. Wasser im Ganzen auf 1250 Centim. Höhe zu treiben.

Experimentalphysik.

Höhe geschafft worden, oder es ist ein Bewegungseffect (12 von 1,382 Kil. 12,50 Meter hoch erzielt worden.

Ein Kolben, der in einem Cylinder, ähnlich wie der Kolben Stiefel der Luftpumpe, dicht anschliesst, aber leicht beweglich kann durch die Kraft des gespannten Dampfes, je nachdem letztere wider die eine oder andere Kolbenfläche drückt, vorwärts geschoben werden, indem sich der Raum hinter der wegten Fläche mit Dampf anfüllt. Angenommen, die Spannsey wieder durch $1\frac{1}{4}$ Atmosphärendruck gemessen, so muss fortschreitende Kolben, während er einem Gegendrucke von Atmosphären, d. h. einem Gewichte von $1,25 \times 1,0337$ Kil., in runder Summe von 1,250 Kil. (196), auf den Q. Centim. Fläche das Gleichgewicht halten kann, für jedes Gramme Dampf, welcher in das Innere des Cylinders gelangt, einen Raum von 1383 C beschreiben. Der Bewegungseffect von 1 Grm. Dampf betri hiernach 1,250 Kilogr. 1383 Centimeter hoch, was genau dasselbe ist, wie 1,383 Kilogr. 12,50 Meter hoch.

Wir besitzen also im Wasserdampfe eine Betriebskraft, deren Effect im Allgemeinen berechnet werden kann, indem man seiner Spannkraft entsprechenden Druck auf die Flächeninhalt diesen Druck durch Gewichte gemessen, mit dem, in denselben Maassverhältnisse ausgedrückten, Rauminhalte eines gegebenen Gewichtes Dampf multiplicirt.

Dieser einfache Satz bildet die physikalische Grundlage der Theorie der Dampfmaschine. Näheres über diese Maschine findet man in den Werken über Mechanik und Maschinenlehre.

Gebundene Wärme der Dämpfe.

257. Es ist schon früher (85) erwähnt worden, dass die Eigenschaften beim Uebergange in den Dampfzustand Wärme betri und dass die Beständigkeit der Siedpunkte in diesem Umstande eine genügende Erklärung findet. Diese zur Verflüchtigung erforderliche Wärme eines Dampfes wird beim Rücktritte desselben den tropfbar flüssigen Zustand wieder frei, d. h. sie nimmt die Beschaffenheit wieder an, sich auf andere Körper übertragen zu können. Hierdurch bietet sich ein im Principe sehr einfaches Mittel dar, dieselbe nachzuweisen und ihre Menge zu bestimmen. Leitet man z. B. den Dampf von siedendem Wasser in kaltes Wasser, so wird dieses nach und nach ebenfalls bis zum Sieden erhitzt, was möglich wäre, wenn die eingeleiteten Dämpfe nicht mehr Wärme enthielten, als ein von denselben umgebenes Thermometer zeigt (75). In der That weiss man aus Versuchen von Despretreux womit noch neuere von Brix übereinstimmen, dass die Gewichtseinheit eines gesättigten Wasserdampfes von 100° Temperatur 540 Wärme-Einheiten, d. h. 540 mehr enthält, als das Thermometer angibt. Durch diese Wärmemenge würde also die Temperatur

ers, unter Umständen, wobei es seine tropfbar flüssige Gestalt halten müsste, von 0° bis zu 610° erhoben werden können. Die Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten enthalten nicht die Menge gebundener Wärme. Während z. B. die Gewichtseinheiten Wassers, um sich in Dampf zu verwandeln, 540 Wärme-Einheiten verschlucken muss, bedarf ein gleiches Gewicht siedenden Alkohols nur 211 Wärmeeinheiten; der Äther, welcher bei $35,97^{\circ}$ siedet, 90 Wärme-Einheiten; das Terpenthinöl $77,8^{\circ}$ siedende Terpenthinöl 77,8 Wärme-Einheiten; das Citronenöl, dessen Siedpunkt bei 176° liegt, 80 Wärme-Einheiten. — Rechnet man diese Zahlen durch die specifischen Wärmen der beiden Flüssigkeiten, so findet man die gebundene Wärme der Dämpfe, bei einer jeden auf ihre eigene Wärmecapacität bezogen. Die specifische Wärme des Aethers ist 0,55; die des Terpentins 0,426; die Quotienten $\frac{90}{0,55} = 163,6$ und $\frac{77,8}{0,426} = 182,6$ sahen wir daher: dass der Aether durch die gebundene Wärme seines Siedepunktes, als freie Wärme gedacht, auf $163,96^{\circ}$ über seinen Siedepunkt, im Ganzen also auf $(35,97 + 163,96)$ und ebenso das Terpenthinöl auf $182,96^{\circ}$ über seinen Siedpunkt würde erhitzt werden können.

Die genaue Bestimmung der latenten Wärme der Dämpfe, insbesondere der des Wasserdampfes ist, seitdem Black die Eigenschaft des Wassers, bei der Verdampfung Wärme zu verschlucken, zuerst nachgewiesen hat, von vielen Forschern mit ungleichem Erfolge versucht worden. Die angewandeten Untersuchungs-Methoden kommen alle darauf hinaus, dass die Dämpfe durch mittelbare Berührung mit einer bekannten Gewichtsmenge kalten Wassers von bekannter Temperatur verdichtet wurden. Aus der beobachteten Temperaturerhöhung und dem Gewichte des verdichteten Dampfes konnte dann die gebundene Wärme desselben berechnet werden. Die neueste und zugleich verlässlichste Arbeit über diesen Gegenstand verdankt man Brix (Pogg. Ann. 55, S. 341). Der von ihm gebrauchte Apparat (a. a. O., S. 360 ausführlich beschrieben) ist eine Abänderung des Rumford'schen Calorimeters (79). Die große Menge latenter Wärme, welche der Wasserdampf enthält, ist eine seiner besten Anwendungen als Heitzmittel. Jedes Pfund Dampf hat nämlich hinsichtlich seines Wärme-Inhalts ganz gleichen Werth mit 6,4 Pfund siedend heissem Wasser, und da sich der Dampf durch Röhren, die jedoch, um die Abkühlung zu vermeiden, mit schlechten Leitern der Wärme umhüllt seyn müssen, sehr leicht und mit vollkommener Sicherheit vor Feuersgefahr nach jedem beliebigen Orte, und selbst auf nicht unbedeutende Entfernungen hin fortleiten lässt, ist die Methode der Dampfheizung in vielen Fällen grosse Bequemlichkeit und ökonomische Vortheile. — Der auf diesem Wege zu erwartende Wärme-Effekt ist jedoch, selbst im günstigsten Falle, hinter demjenigen zurückbleiben, welcher durch unmittelbare Benutzung der von irgend einem Brennmaterial erhaltene Wärme, und bei übrigens gleich zweckmässiger Anordnung erreicht werden kann.

l. Wenn gesättigte Dämpfe, gleichgültig von welcher Spannkraft, durch engen Oeffnungen ihrer Erzeugungsgefäße in Räume strömen, worin sie einem geringeren Drucke unterworfen sind, so wird darin folglich ihr Umfang sich erweitern muss, so vermindert sich ihrer Spannkraft zugleich auch ihre Temperatur. In Folge

der Umfangs-Vergrösserung ist also ein Theil ihrer freien Wärme gebunden worden.

Man lasse Wasserdampf, der in einem kupfernen Siedekessel und in Berührung mit noch tropfbarem Wasser beliebig gesättigt ist, durch eine enge Oeffnung in die freie Luft ausströmen und durch, bei vergrössertem Volume, seine Spannkraft sich mit derjenigen der Atmosphäre ins Gleichgewicht setzen, so wird man finden, dass seine Temperatur in geringem Abstände von der Lufttemperatur weit unter 100° gesunken ist. Diese bedeutende Abkühlung wird aber zum Theile dadurch bewirkt, weil der ausströmende Dampf sich sogleich mit der umgebenden kälteren Luft vermischt. Verhindert man diese Mengung, indem man den Dampf durch ein vor der Kesselöffnung luftdicht ange kittetes Glasrohr strömen lässt, das übrigens sehr viel weiter seyn kann als die Oeffnung und nur als Hülle dient, um die Berührung mit der Luft abzumehren, so behauptet der Dampf innerhalb des Rohrs stets die dem Atmosphärendrucke entsprechende Siedetemperatur, was immer die Temperatur innerhalb des Kessels gewesen seyn mag. — Ähnliche, in grossem Maasse ange stellte Versuche hat P. Berthollet (zu vergleichen sein Werk: „Neue Theorie der Dampfkraft“) bewiesen, dass Dämpfe im Maximum ihrer Spannkraft, welche sich unter Umständen ausdehnen, wobei Wärme von Aussen weder zufließt noch entzogen wird, stets eine solche Menge ihrer eignen freien Wärme enthalten, dass die hierdurch verminderte Temperatur gleichzeitig verminderten Spannkraft wieder zum Maximum der Dichtigkeit oder Spannkraft entspricht.

Werden gesättigte Dämpfe durch äusseren Druck verdrängt, so müsste folglich auch umgekehrt die hierdurch wieder freigesetzte Wärme, in so fern dieselbe durch Abkühlung von Aussen nicht abgeleitet würde, gerade hinreichend seyn, um die Temperatur des Dampfes so weit zu erhöhen, als erforderlich ist, um ihn bei vergrösserter Spannkraft und vermindertem Volume fortwährend im gesättigten Zustande zu erhalten.

Der gesammte Wärme-Inhalt eines gesättigten Dampfes, bei welcher Temperatur und zugehöriger Spannkraft man ihn auch betrachten mag, ist also eine unänderliche Grösse. Die Menge der gebundenen Wärme dagegen ist veränderlich; sie vermindert sich in dem Grade, als die freie Wärme, d. h. die Temperatur des Dampfes, zunimmt.

Z. B. Unter dem mittleren Atmosphärendruck gesättigter Wasserdampf hält 100° an freier und 540° an gebundener Wärme. Bis zu zwei Atmosphärendruck comprimirt, werden noch weitere $20^{\circ},7$ frei und bleiben also nur $519^{\circ},3$ an gebundener Wärme. Unter 10 Atmosphärendruck würde, ohne den Einfluss einer äusseren Abkühlung, die Temperatur desselben Dampfes bis zu $181^{\circ},3$ ansteigen müssen und folglich nur $458^{\circ},7$ gebunden bleiben. Denkt man sich eine Qua-

erdampf bis zu demselben Umfange zusammengedrückt, den er als tropf-
flüssigkeit einnahm, so müsste seine Temperatur auf 640° steigen und die
verdichtete ausdehnsame Flüssigkeit würde gar keine Verflüchtigungs-
wärme enthalten.

Die Ansicht, dass die Summe der freien und gebundenen Wärme des gesät-
tigten Wasserdampfes bei allen Pressungen dieselbe bleibe, ist als Erfahrungs-
gesetz zuerst von Watt ausgesprochen worden. Später behauptete Southern:
der gesammte Wärme-Inhalt, sondern die gebundene Wärme des Dampfes
ist unveränderlich; wenn z. B. einfach gespannter Dampf 100° freie und 540°
gebundene Wärme enthalte, so müsse doppelt gespannter Dampf bei 120° , 7
freie Wärme ebenfalls 540° gebundene Wärme einschliessen u. s. f. Parnell's
Beobachtungen setzen die Unrichtigkeit dieser Vorstellung ausser Zweifel,
indem sie zeigen, dass die Wahrheit von dem von Watt aufgestellten Erfah-
rungsgesetze jedenfalls um keinen mittelst des Thermometers und Manometers
ermittelbaren Werth abweicht. Hiermit stimmen überdies auch noch andere, im
oben angeführten Paragraphen angeführte Thatsachen überein.

59. Ungeachtet sich das Wasser in verschlossenen Gefässen
über seinen gewöhnlichen Siedepunct erhitzen lässt, so können
(aus Gründen, die vorher dargelegt worden sind) die aus-
gehenden Dämpfe, sobald sie keinem grösseren Drucke mehr
ausgesetzt sind, als dem der Atmosphäre, auch keine höhere Tem-
peratur mehr beibehalten, als die eines unter dem bestehenden
Atmosphärendrucke gesättigten Dampfes.

Es gibt noch andere Ursachen, wodurch das Sieden des Was-
sers, sogar in ganz offenen Gefässen, aufgehalten werden kann.
Die Ursachen sind: der Druck des in einem Siedegefässe ent-
haltenen Wassers auf die erhitzte Bodenfläche; die Adhäsion der
Wassermasse an die Wände, nämlich die Kraft, womit die festen Theile der Wände
das Bestreben der verdampfenden Wassertheile, sich abzulösen,
gegenwirken, und insbesondere noch die der Dampfbildung ent-
gegengesetzte Anziehung der flüssigen Theile selbst, so wie von
anderen und andern Stoffen, welche im Wasser aufgelöst sind.

Von welcher Beschaffenheit aber auch ein Siedege-
fäss seyn, wie hoch man es mit Wasser angefüllt haben,
so ist für Stoffe dieses letztere in Auflösung enthalten
bis zu welcher Höhe dadurch seine Siedetemperatur
erhöhen mag, — die aus der siedenden Flüssigkeit
ausgehenden Dämpfe werden stets diejenige Tem-
peratur besitzen, welche unter dem bestehenden äus-
seren Drucke einem Dichtigkeits-Maximum entspricht.

Das Gewicht des Wassers über der Bodenfläche eines Siedegefässes wirkt
als Ursache der Vergrösserung des Atmosphärendrucks. Entspricht letzterer, für sich
genommen, z. B. dem Gewichte einer Wassersäule von 32 Fuss und der Wasser-
druck im Dampfkessel beträgt 2 Fuss, so müssen die Dampfblasen im Augen-
blicke, da sie sich von der Bodenfläche erheben, die erforderliche Temperatur-
erhöhung und Spannkraft besitzen, um einem Drucke von 34 Fuss Wasser das
aufgehobene Gewicht halten zu können.

Das Wasser müsste, so sollte man erwarten, bei genügender Verminderung
des äusseren Luftdrucks, z. B. unter der Luftpumpe, schon bei der gewöhnlichen
Siedetemperatur, ja selbst bei 0° , zum Sieden gebracht werden können. Das Sieden
(die Entbindung von Dampfblasen an den Wänden der Gefässe) bei so

niederen Temperaturen wird aber, wenigstens dann, wenn das Wasser ganz befreit ist, durch die Adhäsion der Gefässwände und die flüssigen Theile unter einander verhindert. Bei hohen Temperaturen Einfluss weniger auffallend. Indessen findet man, dass die Temperatur des siedenden Wassers in Gefässen von Porzellan oder Glas am Boden ist, als an der Oberfläche. Metallgefässe zeigen diesen Umstand.

Bei manchen Flüssigkeiten, zumal wenn sie in Glasgefässen, bemerkt man ein sehr unregelmässiges Sieden. Die Dampfbläschen sind nur einzeln und stossweise und sind oft so gross, dass sie beim Aufsteigen die Flüssigkeit und zuweilen das Gefäss selbst heben. Man nennt dies Aufstossen. Sie ist die Folge eines gewaltsamen Abreisses vom Boden, nachdem seine Spannkraft, bei allmählig erhöhter Temperatur endlich so gross geworden ist, dass er den durch die Adhäsion verursachten Druck zu überwinden vermag. Die Temperatur einer siedenden Flüssigkeit befindet sich in einem fortwährenden Schwanken, kommt auf ihren niedrigsten Werth, unmittelbar nachdem eine Blase sich erhoben hat, und steigt dann allmählig bis zur Erneuerung einer neuen Dampfblase. Manche Flüssigkeiten, z. B. concentrirte Salzsäure, lassen sich wegen des Aufstossens nur schwierig destilliren. Diesen Uebelstand durch Einbringen kleiner Stücke Metall vermindern oder ganz beseitigen. Gewöhnlich werden Abfälle von Platin dazu verwendet, auch oxydirbare Metalle, wie Zink und Eisen, auch poröse Kohle, sind noch wirksamer.

Wenn gleich die Adhäsion der Gefässwände das Sieden hindert, so trägt sie doch wieder andererseits wesentlich zum Uebergang der Wärme aus der Gefässmasse in die Flüssigkeit bei. Flüssigkeiten, welche die Wände eines Gefässes nicht benetzen, sondern denselben in einer verhältnissmässig weit weniger innigen Berührung bedürfen aus diesem Grunde mehr Zeit, um die Wärme der Gefässmasse aufzunehmen. Glühende Metallplatten werden vom Wasser umgeben, ohne dass sich das Wasser an ihnen erhitzt. Bringt man Wasser in ein Metallgefäss, z. B. in eine glühende Platin- oder besser Silber- und mit der Vorsicht, dass die Temperatur der Gefässmasse nicht zu hoch sinken kann, so behauptet die Flüssigkeit eine constant hohe Temperatur wie Quecksilber in Glasgefässen, und verdampft, ungeachtet der hohen Temperatur des Metalls, auffallend langsam. Ist die Schale geräumig und nach so viel Wasser eintragen zu können, als nöthig ist, um denselben zu prüfen, so findet man, dass der Stand des Thermometers mehrere Grade unter dem Siedpuncte bleibt. Dieses Verhalten ist von Leidenfrost beobachtet worden; daher der Name: Leidenfrost'sches Phänomen.

Der Widerstand, den verdampfende Flüssigkeiten am Boden erfahren, hat keinen bedeutenden Einfluss auf die Temperatur am Boden. Regenwasser, destillirtes und überhaupt reines Wasser, zum Sieden gebracht, zeigt daher an seiner Oberfläche einen, je nach der Beschaffenheit der Luft zwar nicht immer genau gleichen, aber doch nie bedeutend höher als der bestehende Atmosphärendruck verlangt. Selbst Unreinheiten in der Flüssigkeit schweben, verändern ihren Siedpunct nicht, sondern durch aufgelöste Stoffe wird das Sieden fast immer beträchtlich beschleunigt oder weniger, je nach ihrer Menge, Beschaffenheit und Vertheilung im Wasser. Der Siedpunct des Wassers steigt mit der Menge eines gelösten Salzes, jedoch nicht im Verhältniss dieser Menge. (Leidenfrost, Ann. B. 37, S. 379.) Als Beleg für den ungleichen Einfluss verdampfender Flüssigkeiten dient die folgende Tabelle:

Salz in gesättigter Lösung.	Siedpunkt.	Salzgehalt in 100 Theilen Wasser.
Chloratrum	100,6	31,5
Chlorid	101,7	17,5
.	104,0	52,0
.	104,6	48,5
Chloratrum	106,5	113,2
.	108,3	59,4
.	108,4	41,2
.	114,2	88,9
Chlorid	115,9	335,1
Chloratrum	121,0	224,8
.	135,0	205,0
Chlorid	151,0	362,2
.	179,5	325,0
Ammoniak	180,0	unendlich.

Die Anzeige des Quecksilberthermometers beruht auf der richtigen Bestimmung seines Siedpunktes. Aus dem Vorhergehenden ist zu ersehen, dass nur die aus siedendem Wasser aufsteigenden Dämpfe einer Vergleichbarkeit mit dem Barometerstande entsprechen. Um die Lage des Siedpunktes eines Thermometers zu ermitteln, ist daher rathsam, dasselbe nicht in die siedende Flüssigkeit einzurufen, sondern nur der Einwirkung der Dämpfe auszusetzen. Das Instrument ist in einen Glaskolben mit langem Halse, worin man Wasser in einer bestimmten Höhe unterhält, so weit eingesenkt, dass es, ohne die Oberfläche zu berühren, doch seiner ganzen Länge nach bis in die Gegend der heissen Dämpfe umspült werden muss. Um eine Abweichung der Einflüsse ganz sicher zu vermeiden, befestigt man über die Eintrittsröhre etwas unter der Stelle des Siedpunktes mittelst eines Glaszylinders, der bis unter den Quecksilberbehälter hinuntergeht. (Ausführlicheres über die Feststellung des Siedpunktes findet man in Ann. B. 40, S. 48. Ebendasselbst, S. 567, findet man eine sehr interessante Beobachtung über die Anwendung der Methode des Thermometers, auf 0° reducirt, zufällig auf 336,9 Linien stand. Derselbe Stand desselben wird eine Berichtigung erforderlich. Angenommen die beobachtete Siedtemperatur ist 99°,85, so ist die entsprechende Siedtemperatur 99°,85 : 99,85 = 100 : x ergibt sich dann der Siedpunkt x = $\frac{100 \cdot t}{99,85}$; t bedeutet die mittlere Entfernung des Siedpunktes und beobachteten Sied-

Die Bestimmung des festen Punktes der Thermometerscale ist weit schwieriger, und erfordert nur, dass das Thermometer bis in die Gegend des festen Punktes mit einem Gemenge von Schnee und reinem Wasser eingetaucht wird, welches sicher die Temperatur von 0° besitzt. Die Bestimmung aus einer Flüssigkeit zugleich mit ihrem Dampf ist nicht möglich, weil gasförmiger Körper von grösserer Beständigkeit die Temperatur der Dämpfe stets unter der dem flüssigen entsprechenden Siedpunkt. Der Grund ist, weil die Dämpfe um diejenige des beigemengten beständigeren Bestandtheils betragen muss, als der äussere Druck (249).

Die Verdampfung unter Mitwirkung einer Gasentw. ein unter möglichst günstigen Verhältnissen eingeleiteter stungsprocess, indem durch den Gasstrom nicht nur die stende Fläche vergrössert, sondern auch ein regelmä. dauernder Wechsel der den Dampf aufnehmenden Räum. wird. Es sey V das Volum des unter dem Drucke b , währ gewissen Zeit, in der Flüssigkeit sich entbindenden trocken p die Spannkraft des aufgenommenen Dampfes; so kann des austretenden (mit dem Dampfe gemengten) Gases betrachtet, nur $b - p$ betragen. Der Raum V hat sich da rend der Dampfaufnahme und indem er immer dem äusser b das Gleichgewicht hält, in $\frac{V \cdot b}{b - p}$ erweitert. Dieser gar

ist mit Dampf von der Pressung p angefüllt. Je näher di ratur einer Flüssigkeit ihrem wahren Siedpuncte liegt, je also die Spannkraft (p) ihres Dampfes von dem äusser (b) verschieden ist, einer um so geringeren Gasmenge um ein gewisses Dampfvolum aus der Flüssigkeit gera zuführen, als befände sie sich im lebhaftesten Sieden.

Z. B. Wasser von 99° Temperatur bildet einen Dampf von $27''$ Jeder K. Z. Luft von derselben Temperatur und unter $28''$ Druck Flüssigkeit in Berührung gebracht, wird sich bis zu 28 K. Z. ausdeh eben so grosses Volum Dampf von 99° und $27''$ Spannung mit sich!

Hieraus erklärt sich das plötzliche, heftige Aufwallen siedend bis zum Siedpuncte erhitzter Flüssigkeiten, wenn man poröse Stoffe Holz u. s. w., die sich vorher mit Luft oder einem andern Gase hatten, hineinwirft.

Die rasche Entbindung der Gase, namentlich der Kohlensäure, au lösungen, durch Einbringen poröser oder solcher Stoffe, durch deren auf die Flüssigkeit sich ein anderes, weniger lösliches Gas erzeugt, aus derselben Ursache.

Der durch einen Gasstrom beschleunigte Verdunstungsprocess manchen Fällen eine vortheilhafte Anwendung, um Flüssigkeiten o eines luftverdünnten Raumes bei Temperaturen unter ihrem gewöhn puncte abzdampfen oder zu destilliren. Destillation des Terpei anderer flüchtiger Oele mittelst Wasserdämpfen, in welchen die sitanz gerade so wie in einem andern Gase verdunstet.

Die Eigenschaft der Flüssigkeiten, im Raume gasförmiger oder da Stoffe zu verdunsten, macht es schwierig, solche Flüssigkeiten, derei nicht sehr weit von einander entfernt liegen, durch Destillation. So ist es z. B. unmöglich, den Alkohol selbst durch wiederholte Dest belgelmischten Wasser zu trennen. Die Scheidung des absoluten A lingt aber durch Abziehen des auf die gewöhnliche Weise so weit concentrirten Weingeistes über Chlorcalcium, weil dieses zu dem geringe Verwandtschaft besitzt, dagegen im Wasser sich auflöst Siedpunct bis nahe 180° erhebt, wodurch bei derjenigen Temperatur, der absolute Alkohol abdestillirt ($78^\circ,4$), keine Wasserdämpfe von Spannung entstehen können.

261. Verdampfende Flüssigkeiten können nur dann Temperatur annehmen, wenn die von dem Dampfe g Wärme durch Zufluss von Aussen stets wieder ersetzt

grösser als der Verlust, so steigt die Temperatur bis des Siedpunctes unter dem herrschenden Drucke. Geht mit dem Dampfe fort, als von Aussen zufliessen kann, Temperatur. Letzteres ist der Fall bei allen der freilampfung überlassenen Flüssigkeiten. Aber auch diese kann eine gewisse Gränze nicht überschreiten. Denn Körper kälter wird als seine Umgebung, beginnt der Wärme von Aussen und vermehrt sich bei fortdauernder Temperatur; dagegen die Expansivkraft des Dampfes die Ursache der Dampfbildung und fortschreitenden nimmt ab; es muss daher endlich ein Zeitpunkt ein- tie durch fortdauernde Dampferzeugung verschluckte gleichzeitigen von Aussen zuströmenden gleich ist, also ner weiteren Temperaturerniedrigung wegfällt.

man die mit Linnen oder mit Schwamm umgebene Kugel eines mit Wasser, so sinkt die Quecksilbersäule sogleich um mehrere an um 8—10° heruntergehen, wenn man das befeuchtete Thermometer Faden rasch herumschwingt. Mittelt Aether oder Schwefel- in man auf diese Weise die Temperatur um 15—20° erniedrigen. tige Tropfen Wasser in ein Uhrglas, giesst Aether darauf, und nes Löthrohrs mit weiter Oeffnung rasch einen Luftstrom darüber startt das Wasser. — Die wirksamsten, bis jetzt bekannten Er- durch Verdunstung sind: schweflige Säure und Kohlensäure im en Zustande. Die erstere, bei — 20° einem Luftstrome ausgesetzt, theilweise Verdunstung bis unter — 60°; die letztere erniedrigt ir von 0° bis zu — 100°, indem der nicht verdunstete Theil zu äure erstarrt; dabei vermindert sich ihr Expansivvermögen in is die feste Kohlensäure bei langsamer Verdunstung kaum be- hwindet. (Pogg. Ann. B. 36, S. 146.)

flüchtigen Stoffen verhindert die Luft eine sehr bedeutende Ab- durch direkte Wärmemittheilung, theils indem sie die Verdun- Wasser, Aether, Schwefelalkohol u. s. w. erkalten daher am sie im leeren Raume verdampfen. Man bringe ein Uhrglas mit über ein weites, concentrirte Schwefelsäure enthaltendes Gefäss, ke einer guten Luftpumpe, und pumpe so gut wie möglich aus; rd nach einiger Zeit erstarren. Wenn das Uhrglas der Säure nicht d nur an wenigen Puncten aufliegt, die Säure ganz concentrirt ne fähig ist, die Luft wenigstens bis zu 1 Linie Pressung zu ver- lingt dieser Versuch selbst bei einer Temperatur von 25—30°. r einer mit Wasser befeuchteten Thermometerkugel sinkt sogar — 37°. (Leslie.)

Wollaston's Cryophor (Eisträger) beruht auf dem- selben Grundsätze, wie der vorher beschriebene, von Leslie erfundene Apparat zur Erzeugung künstlicher Kälte. Ein gebogenes Rohr (Fig. 89), an beiden Enden zu- geschmolzen, etwas Wasser enthaltend und luftleer. Man bringt das Wasser in den einen Schenkel und taucht dann eine Kältemischung; die Flüssigkeit, hierdurch genöthigt, rasch , kühlt sich ab und gefriert nach einiger Zeit.

Hygrometrie.

Hygrometrie hat zur Aufgabe: die Bestimmung der und Menge des bei irgend einer Temperatur in der

atmosphärischen Luft oder auch in einem andern Gase enthalten Wasserdampfes.

Diese Bestimmung wird zu einer blossen Rechnungsaufgabe wenn die Luft mit Dampf gesättigt ist. Die Spannkraft ändert sich in diesem Falle mittelst irgend einer der Interpolationsformeln welche die Relation zwischen der Temperatur und den Maximum Spannkraften des Wasserdampfes ausdrücken. Wählt man z. B. Formel β (Nr. 244), und setzt darin für t° die beobachtete Lufttemperatur, so wird die gesuchte Dunstspannung in Par. Linien gefunden.

Zur Ersparung dieser Rechnungen dient die Tafel XV, a, welche zwischen -20° und $+35^\circ$ für die ganzen und halben Temperaturgrade die entsprechenden Spannungsmaxima gibt. Eine weitere Ausdehnung dieser Tafel bis zu Zehntel-Graden ist ohne besonderen Werth; denn die Unsicherheit in den für die Spannkraften des Wasserdampfes durch direkte Messung gefundenen Werthen beträgt mehr als die durch den Unterschied eines halben Temperaturgrades bewirkten Veränderungen derselben.

Ist die Spannkraft des Dampfes für eine gewisse Temperatur gegeben, so findet man (253), wie viel Gewichtstheile derselbe in 1000 C. C. Luft enthalten sind, mit Hilfe der Formel:

$$d \text{ grm} = \frac{1000 (273 + T) e}{(273 + t) B} \cdot \frac{D}{V}; \text{ die sich, indem } T = \frac{D \cdot 1000}{B} = 0,80557 \text{ (Tafeln, S. 17) gesetzt wird}$$

verwandelt in

$$d \text{ grm} = \frac{0,6528 \cdot e}{278 + t}; (u)$$

263. Nur selten ist die Luft mit Wasserdampf gesättigt. Bestimmung ihres Feuchtigkeitszustandes, das ist: des Verhältnisses der Dampfmenge, welche wirklich darin enthalten zu derjenigen, die bei der herrschenden Temperatur darin enthalten seyn könnte, ist nun vorzugsweise der Zweck einer hygrometrischen Untersuchung.

Es lassen sich aus den bekannten Eigenschaften des Wasserdampfes verschiedene Methoden ableiten, den Feuchtigkeitszustand der atmosphärischen Luft zu messen. Mit dem Worte Hygrometer bezeichnet man jede zu einer solchen Messung benutzte Gerätschaft.

261. Die Menge der Luftfeuchtigkeit kann direkt bestimmt werden, indem man ein abgemessenes Volum Luft durch ein Glasleitet, das geschmolzenes und gröblich zerstoßenes Chlorcalcium oder mit concentrirter Schwefelsäure befeuchteten Asbest enthält. Die Luft, wenn sie nur langsam genug durch das Rohr geht, vollkommen ausgetrocknet; der Gewichtsunterschied des letz-

! nach dem Versuche gibt daher unmittelbar die gesuchte enge. Dividirt man dieselbe durch die Gewichtsmenge welche derselbe Raum bei derselben Temperatur aufnehme, so erhält man den Feuchtigkeitszustand. Einen für erfahrene sehr geeigneten Apparat hat Brunner beschrieben Pogg. Ann. B. 20, S. 274.

Wenn die atmosphärische Luft bei unverändertem Barometerelement langsam erkaltet, so kühlen sich auch die Dämpfe ab, sie enthält und nähern sich dadurch ihrem Sättigungsdruck ohne dass ihre Spannkraft sich ändern kann, bis sie endfortdauerndem Sinken der Temperatur ein Maximum ihrer Feuchtigkeit (den Sättigungspunct) erreichen. Dieser Temperaturpunkt welchem also, wenn er die herrschende Temperatur betrug, die Atmosphäre gerade mit Dampf gesättigt seyn würde, Namen des Thaupunctes erhalten, weil Abkühlung unterhalb desselben eine theilweise Verdichtung zu tropfbarer Flüssigkeit (Thauniederschlag) bewirkt.

Wenn man die herrschende Temperatur und den Thaupunct, so wie die Feuchtigkeitszustand der Luft berechnen; denn nach dem mariottischen Gesetze Dichtigkeit und Gewicht des Dampfes, so lange die Temperatur sich nicht ändert, seiner Dichte direkt proportional sind, so muss die dem Thaupuncte entsprechende Dunstspannung sich zu der der herrschenden Temperatur entsprechenden Dunstspannung verhalten, wie der Wassergehalt der Luft zu demjenigen, welchen sie (bei der herrschenden Temperatur) möglicher Weise aufnehmen könnte. Auf diesem Wege hat zuerst Dalton den Feuchtigkeitszustand der Luft wirklich gemessen. Zur Bestimmung des Thaupunctes hat er sich eines Verfahrens, das früher schon Le Roy angewendet hatte. Ein Glas wird mit kaltem, nach Erforderniss durch Salze auflösliche Salze abgekühltem Wasser gefüllt und ein empfindliches Thermometer hineingestellt. Die Kälte des Wassers theilt sich der umgebenden Luft mit, ihre Temperatur sinkt bis sie gelangt der in ihr vertheilte Dampf auf seinen Sättigungsdruck. So wie sich jetzt die Temperatur noch weiter erniedrigt, so theilt sich nicht aller Dampf mehr gasförmig erhalten, ein Theil verdichtet und setzt sich als Thau an den kalten Glaswänden ab. Setzt, die Temperatur der Luft sey 16° und das Thermometer die Temperatur zeige 8° in dem Augenblicke, da das Glas mit einem feuchten aber noch deutlich sichtbaren Anfluge von Feuchtigkeit bedeckt wird.

Man giesse das Wasser in ein anderes Glas, dessen Wände trocken und rein sind. Angenommen, es bilde sich die geringste Spur mehr eines Feuchtigkeits-Niederschlags ab, so eingetauchte Thermometer zeige 9° ; so muss der Thaupunct niedriger als 9° , aber höher als 8° liegen. $8,5$ ist ein ge-

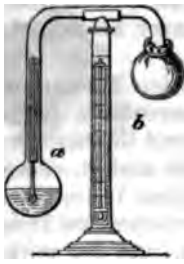
näherer Werth dafür. Nun ist die der Temperatur von 16° zühörige Dunstspannung $6''',33$; für $8^{\circ},5$ findet man $3''',96$. Diese Spannkraft besitzt aber dieser bei $8^{\circ},5$ gesättigte Dampf auch 16° , weil er sich in der Atmosphäre, während er sich erwärmt frei ausdehnen konnte. Der Feuchtigkeitszustand der Luft wird

folglich durch die Zahl $\frac{3,96}{6,33} = 0,626$ ausgedrückt, d. h. sie ent-

62 — 63 Procent der Wassermenge, welche sie aufnehmen können.

266. Um nach dieser Methode den Thaupunct mit mehr Leichtigkeit und grösserer Sicherheit und Schärfe erfassen zu können, hat Daniell das nach ihm benannte, später nach ihm von Körner verbesserte Instrument ersonnen. Es besteht aus

Fig. 90.



zwei Glaskugeln a und b (Fig. 90), welche durch ein Rohr in Verbindung stehen; sie sind luftleer und a ist zur Hälfte mit Aether gefüllt. Die Kugel b taucht in den Aether. Die Kugel a ist platinirt und dadurch metallisch glänzend; b ist mit Musselin umgeben. Man träufelt etwas Aether auf diese Hülle. Die hierdurch bewirkte Abkühlung der Kugel b hat eine Verdichtung des im inneren Raum derselben enthaltenen oder in diesem Raum sich dringenden Dampfes zur Folge. Daher Verdampfen

der Flüssigkeit in a und allmähliges Erkalten derselben. Der Thaupunct wird bald erreicht, überschritten und eine dünne Lage Flüssigkeit an der Kugel abgesetzt. Da die metallisch glänzende Oberfläche der letzteren durch den geringsten Anflug von Feuchtigkeit sogleich ein mattes Ansehen gewinnt, so lassen sich die Gränztemperaturen, wo der Niederschlag noch nicht stattfand und wo er sich eben gebildet hat, ziemlich scharf erfassen. Ein gleichzeitiges Thermometer, an demselben Apparate angebracht, zeigt die Lufttemperatur.

267. Der Gebrauch des Daniell'schen Hygrometers und auf demselben Principe beruhenden hygrometrischen Vorrichtungen erfordert stets die Anstellung eines Versuchs, der Zeit in Anspruch nimmt. Man hat nicht den Vortheil, wie bei Barometer und Thermometer, durch blosse Beobachtung sogleich das Resultat zu erfahren. Diesen Vorzug bietet das Thermo-Hygrometer, ein Psychrometer genannt. Es ist seinem Principe nach von Lavoisier erfunden, aber zuerst in der Form, welche ihm August Gabriel wirkliches Messinstrument geworden.

Von zwei ganz gleichgehenden, in Fünftel-Grade getheilt Thermometern (Fig. 91), die neben einander an demselben Gestell befestigt sind, ist das eine mit Musselin umwickelt, welches über und unter der Thermometerkugel zusammengebunden ist um

Form eines Stranges in ein mit reinem Wasser angefülltes Glasgefäß hinabreicht. Durch Aufsaugen der Flüssigkeit bleibt die Thermometerkugel, ungeachtet der eintretenden Verdunstung, fortwährend benetzt. Ihre Temperatur erniedrigt sich aber, um so mehr, je rascher die Verdunstung vor sich geht, d. h. je trockener die Luft ist. Zuletzt, wenn der Wärmeverlust sich mit dem Wärmezufuss in's Gleichgewicht gesetzt hat, muss das benetzte Thermometer immer eine beständige Temperatur annehmen; die der herrschenden Temperatur und Luftbeschaffenheit entsprechende Verdunstungskälte. Von diesem Augenblicke an beruht die Fortdauer der Verdunstung hauptsächlich auf derjenigen Wärme, welche das Wasser von der umgebenden Luftschicht empfängt, und die es mit Hilfe wieder zurückgibt. Die Luft sättigt sich mit diesem während ihre Temperatur bis zur Verdunstungskälte herab sinkt. Die freie Wärme, welche sie verlor, kommt also derjenigen, die sie als gebundene Wärme wieder erhielt.

Man kennt die gebundene Wärme des Dampfes, so wie die spezifische Wärme der Luft. Aus dem Wärmeverlust der letzteren, wofür der Unterschied des Standes des trocknen und nassen Thermometers ein Maßstab gibt, lässt sich daher die Dampfmenge berechnen, die die Luft noch aufnehmen musste, um sich bei der Temperatur des nassen Thermometers (der Verdunstungskälte) damit zu sättigen. Hieraus kann alsdann der wirkliche Feuchtigkeitsgehalt der Luft oder die Spannkraft desselben leicht abgeleitet werden. Die Rechnung gründet sich auf zwei Voraussetzungen, welche in aller Strenge als richtig angenommen werden können; nämlich die das nasse Thermometer umspülende Luft sich mit Dampf sättigt, und dass alle hierzu verwendete Wärme von der Luft selbst genommen werde. Aber abgesehen davon dass beide Voraussetzungen nicht ganz richtig sind, muss auch durch begangene Fehler je nach der Schnelligkeit der Luftbewegung und der Beschaffenheit der Wärme strahlenden Umgebungsgegenstände verschieden seyn. Die in der Rechnungsformel enthaltene Formel muss daher, streng genommen, für jeden Standort des Thermo-Hygrometers durch vergleichende Versuche mit dem Daniell'schen oder Daniell'schen Hygrometer berichtigt werden. Dieses Instrument frei steht, und bei bewegter Luft, doch in schützenden Winden ausgesetzt ist, empfiehlt August die folgenden Formeln, als wohl übereinstimmend mit der Erfahrung.

Temperaturen über 0°:

$$e = e^1 - 0,0008 (t - t^1) b$$

Temperaturen unter 0°:

$$e = e^1 - 0,0007 (t - t^1) b.$$

Es bedeutet b den Barometerstand, t den Stand des trocknen Thermometers, t^1 den des nassen Thermometers, e^1 die der Verdunstungskältsprechende, e die gesuchte Spannkraft.

Die beim Gebrauche des Thermo-Hygrometers vorkommenden Rechnungen lassen sich in vielen Fällen mittelst einer von Eckhardt (Ann. der B. 13, S. 361) entworfenen Tafel ganz ersparen. (Siehe Tafel XVI.) Dies gibt den Wassergehalt der Luft in Milliontheilen des Raumes. Das trockne Thermometer stehe z. B. auf 12° ; die Differenz beider Thermometer sey 4, so die Tabelle, dass in 1 Kubikmeter Raum 6 Kubik-Centimeter Wasser in 1 form enthalten sind.

Der Feuchtigkeitszustand, gleich wie die Temperatur der Luft, ist ein aufhörlichen Wechsel unterworfen. Das Thermo-Hygrometer ist vorzugsweise geeignet, jede Aenderung desselben sogleich zu entdecken; es ist aus Grunde ein für das Studium der Witterungskunde höchst wichtiges Werkzeug geworden.

268. Wir pflegen den Grad der Trockenheit oder der Nässe der Luft nach dem Grade der Schnelligkeit zu beurtheilen, worin die Verdunstung von Statten geht. Wir erhalten aber hierdurch ein Urtheil über die relative Trockenheit. Wenn z. B. ein Thermometerstande von 8° feuchte Körper nur wenig verdunsten, Körper von niedrigerer Temperatur sich sogleich mit Thau bedecken, so sagen wir: die Luft sey feucht. Angenommen das benetzte Thermometer zeige in diesem Falle einen Grad niedriger als das trockne, so beträgt der Sättigungsgrad der Luft 44 Procent, die wirkliche Feuchtigkeitsmenge (nach Tafel X) 14,7 Milliontheilen des Raumes. Steigt die Temperatur auf 20° , so dass mehr Wasser verdunstet, so sinkt der Sättigungsgrad auf 44 Procent und die Luft bewirkt jetzt die Empfindung von Trockenheit, ungeachtet doch ihr wirklicher Feuchtigkeitsgehalt sich geändert hat; sie ist also nur relativ trockner geworden. Um denselben Eindruck von Nässe wie früher hervorzubringen, würde die Menge des darin aufgelösten Dampfes auf 14,7 Milliontheile anwachsen müssen. Die Atmosphäre enthält in Deutschland in der warmen Jahreszeit nur selten eine so beträchtliche Wassermenge; man findet sogar, dass der Thaupunct bei uns selten übersteigt. Die Luft erscheint daher im Sommer meistens trockner, ungeachtet sie in dieser Jahreszeit fast immer mehr dampffähiges Wasser aufgenommen hat, als in den nassen Monaten November und December.

Die absolute Dampfmenge in der Atmosphäre vermindert sich wie die Temperatur vom Aequator nach den Polen hin. Gleichwohl hat man den relativen Feuchtigkeitsgehalt, oder den Feuchtigkeitszustand, in verschiedenen Breiten, über dem Meere nur in verschiedenen gefunden. Denkt man sich die ganze, zu gleichem Grade in der Atmosphäre befindliche Dampfmenge als tropfbares Wasser, so würde die Erdoberfläche höchstens 2 bis 3 Zoll hoch damit bedeckt werden. Das im Laufe eines Jahres aus der Atmosphäre fallende Wasser kann aber weit mehr betragen. In den

Is z. B. fällt jährlich eine Regenmenge, welche zusammen, den Boden fast 2 Fuss hoch bedecken würde. Niederschläge aus der Atmosphäre erfolgen, so oft der kalte Wasserdampf unter seinen Thaupunct abgekühlt, als die gleich starke Abkühlung unter den Thaupunct falscher reichlicher, einer je höheren Temperatur derselbe umso weil die Dichtigkeit des Dampfes in einem grösseren Verhältniss als die Temperatur zunimmt. Geht die Abkühlung in der Luft vor sich, so entsteht Thau, Reif, Glatteis; oberhalb beträchtlicher Höhe über der Erde statt, so fällt Regen, Hagel, blossen. — Wolken und Nebel sind ebenfalls feuchte Luft, bei welchen jedoch das durch Verdichtung des Wasserdampfes gebildete Wasser noch nicht in Tropfen zusammengeflossen, sondern die Gestalt von Bläschen besitzt, deren Oberfläche mit Feuchtigkeit gesättigte Luft umschliessen. Bei der Abkühlung gehen diese Bläschen in Tropfen über. Sinkt aber die Temperatur, wird die Luft wieder trockener, so geht sie in die Form von unsichtbarem Dampfe zurück.

Alle Körper, ohne Ausnahme, besitzen das Vermögen, Wasser aufzunehmen, mehr oder weniger, je nach ihrer Löslichkeit und Verwandtschaft zum Wasser. Manche Körper, wie concentrirte Schwefelsäure, Chlorcalcium, Aetzkalk, ziehen dasselbe mit solcher Begierde auf, dass man sie benutzen kann, um die Luft auszutrocknen. Bei der Abkühlung der Körper gehört diese Einwirkung auf das Wassergas zu den Erscheinungen der Adhäsions- oder Absorptions-Erscheinungen richtet sich daher nach dem Feuchtigkeitszustande der Luft. In ganz feuchter Luft, gleichgültig bei welcher Temperatur, nehmen alle derselben ausgesetzte Körper (das ihrer hygroskopischen) Beschaffenheit entsprechende Maximum Wasser auf; sie sättigen sich damit. Entfernt sich der Körper vom Sättigungspuncte, so ziehen die darin befindlichen Körper von ihrem Wasser ab, bis ihr Absorptionsvermögen mit dem des eingezogenen Wassergases wieder im Gleichwichte steht. In ganz trockner Luft, ihre Temperatur aber niedrig, geht nach und nach alles Wasser fort, das der Körper absorbirt hatte. Mittelst Schwefelsäure, und zumal unter dem Einflusse der Kälte, lassen sich daher die Körper vollständig austrocknen. Erwärmen wird das Austrocknen nur deshalb befördert, inwiefern die relative Trockenheit der Luft dadurch vermehrt wird. Die Wärme allein, ohne Beihülfe eines trocknen Luftstromes, vermag jedoch die einem Stoffe anhängende Feuchtigkeit nie abzutreiben.

Die hygroskopischen Körper, Holz, Kohle, Haare, Wolle, Häute und viele andere Stoffe, die aus pflanzlichen oder Thierreihen abstammen, zeichnen sich durch ihr Ver-

mögen, den Wasserdampf zu absorbiren, besonders aus; aber auch Körper in der unorganischen Natur, selbst die härtesten Steine, Glas, besonders in Pflanzgestalt, können der Luft einen Theil ihrer Feuchtigkeit entziehen und vermindern dadurch ihr Gewicht.

Viele Körper vergrößern durch Aufnahme von Wasser sehr bemerkbar ihren Umfang; z. B. Holz, Fischbein, bei welchen sich die Feuchtigkeit zwischen die Fasern lagert, dehnen sich dadurch senkrecht gegen die Richtung der Faser aus; Seile verkürzen sich, indem sie im Sinne der Breite anschwellen; Haar werden länger. Diese Eigenschaft verschiedener Stoffe ist häufig als ein Mittel benutzt worden, den Feuchtigkeitszustand der Luft zu messen. Insbesondere hatte das von Saussure erfundene, später von Gay-Lussac gebaute Haar-Hygrometer sich einen grossen Ruf erworben. Da jedoch die Längenveränderungen des Haars im Laufe der Zeit nicht gleich und folglich die Anzeigen dieses Instrumentes nicht verlässlich bleiben, so ist dasselbe durch ein Thermo-Hygrometer verdrängt worden.

VIII. Von den magnetischen und electricen Kräften.

Erscheinungen und Gesetze der magnetischen Anziehung und Abstossung.

270. Gewisse Körper besitzen die merkwürdige Eigenschaft, ein magnetisches Eisen anzuziehen und mit einer Kraft festzuhalten, die häufig um vielmal grösser ist, als ihr eigenes Gewicht. Man nennt sie Magnete, und die Eigenschaft, wodurch sie sich auszeichnen, Magnetismus.

Der Magnetismus ist zuerst an einigen Eisenerzen bei ihrem natürlichen Vorkommen, insbesondere an der unter dem Namen Magnet-Eisenstein (Eisenoxyduloxyd) bekannten, niederen Oxydationsstufe des Eisens beobachtet worden. Später entdeckte man, dass auch metallisches Eisen, ferner dass Nickel und Kobalt diese Eigenschaft annehmen können. Bei keinem andern Körper hat man bis jetzt als ein bleibender Zustand mit Sicherheit nachgewiesen werden können; ungeachtet es sehr viele gibt, die in gewissen Fällen, wiewohl nur vorübergehend, sich ähnlich wie die Magnete verhalten.

Das magnetische Eisenerz war schon den Alten wohl bekannt und soll zuerst in der Nähe der Stadt Magnesia, in Lydien, entdeckt worden seyn. Magnetische Wirkungen hat man auch hier und da an manchen Felsarten und einzelnen Mineralblöcken, namentlich an Graniten und Basalten, wahrgenommen, fand aber erst bei näherer Untersuchung immer, dass sie Eisen auf einer niedrigen Oxydationsstufe eingeschrenkt enthalten. Wenn man an Metallen, mit Ausnahme der vorerwähnten, Spuren magnetischer Anziehung bemerkt, wie diess z. B. bei Kupfer und Messing nicht selten vorkommt, so darf man stets mit Sicherheit auf einen Gehalt an Eisen oder Nickel schliessen.

271. Das geschmiedete Eisen ist gewöhnlich nicht von sich selbst magnetisch, aber es gewinnt diese Eigenschaft bei der bloßen Berührung mit einem Magnete und zieht dann, so lange die Berührung fort dauert, andere Eisenstücke fast eben so stark an, wie der Magnet selbst. Von dem letzteren wieder getrennt, verliert es

lie ihm mitgetheilte Kraft, entweder ganz oder doch grösseres Eisen, welches Schwefel, Phosphor oder Kohle, wenn auch in geringen Mengen enthält, nimmt die magnetische Kraft billiger an, als das reinere Schmiede-Eisen, behält aber dann den ertheilten Magnetismus dauernder.

Wegen seiner Eigenschaft, bleibenden Magnetismus anzunehmen, zeichnet sich vor allen andern Körpern der gehärtete Stahl aus. Die meisten Magnete, die man gebraucht, werden daher aus Stahl verfertigt. Man nennt sie zuweilen künstliche Magnete, um sie von den natürlich vorkommenden zu unterscheiden. Der beste Stahl, nachdem er eine zweckdienliche Gehaltung erhalten, wird gehärtet, indem man ihn aus der Roth-Glühenöfen möglichst gleichzeitig an allen Punkten, am besten durch Tauchen in kaltes Wasser senkt und darin erkalten lässt. Durch Streichen mit einem Magnete wird er dann magnetisch gemacht, oder wie man sich ausdrückt, magnetisirt. Ist man schon mit einem kräftigen Magnete, so ist mehrmaliges stetig fortgesetztes Streichen von einem zum andern Ende und über beide Enden eines dünnen Stahlstreifens gewöhnlich hinreichend, um einen viel Magnetismus beizubringen, als er überhaupt dauernd erhalten kann. Das Streichen muss jedoch immer in derselben Richtung und mit demselben Ende des Magnets geschehen.

2. Man kann mit einem und demselben Magnete eine noch grössere Anzahl Stahlstäbe magnetisch machen, ohne dass er von seiner Stärke merklich verliert. Man muss hieraus entnehmen, dass die Ursache der magnetischen Thätigkeit im Stahl, nicht in der Nähe der Magnete, sondern überhaupt in den Körpern, welche die Fähigkeit beizubringen, magnetisch zu werden, ursprünglich vorhanden ist, sondern nur entwickelt oder zur freien Wirksamkeit gebracht wird.

Der Widerstand, den unreines Eisen, insbesondere der weiche Stahl, der Entwicklung des Magnetismus in seiner eigentlichen Richtung entgegensetzt, und der andererseits das Verschwinden des hervorgebrachten Magnetismus erschwert, wird (worin er das Wesen dieses Widerstandes bestehen mag) mit dem Coërcitivkraft bezeichnet. Das weiche oder geschmiedene Eisen besitzt keine, oder doch nur eine sehr geringe Coërcitivkraft, und kann daher nicht bleibend magnetisch werden.

Die anziehende Kraft der Magnete auf Eisen, Kobalt und Nickel zeigt sich nicht bloss bei der Berührung; sie wirkt auch in der Ferne mit abnehmender Stärke, in die Ferne und nach jeder Richtung. Durch die meisten Körper, sogar durch den leeren Raum, hindurch breitet sie sich bei ungeändertem Abstände mit ungeschwächter Kraft fort. Der Wirkungskreis, innerhalb dessen die Kraft eines Magnets merkbar bleibt, nennt man seinen Wirkungskreis (Wirkungssphäre).

Kleine Stücke Eisen, wie Abfälle von Draht, Nähnadels, Feilspäne bewegen sich gegen einen Magneten mit beschleunigter Geschwindigkeit und hängen sich daran fest. Legt man ein dünnes Brett oder ein Stück steifes Papier auf Eisenfelle und nähert dann den Magnet, so wird der dazwischen liegende Stoff sofort den Feilspänen gehoben und festgehalten. Auch grössere Stücke Eisen, wenn sie leicht beweglich sind, werden schon aus der Entfernung angezogen. Man hänge einen Stab von recht reinem Schmiede-Eisen in seinem Schwerpunkt so auf, dass er um diesen Punct herum in jeder Richtung leicht beweglich ist. Man nähere sodann einen Magnet, so wird sich das eine oder andere Ende des Stabes, welches gerade das zunächst liegende ist, gegen den anziehenden Körper bewegen und allen seinen Bewegungen folgen. Diese Erscheinung wird in gleicher Weise eintreten, wenn man den Eisenstab hinter einem Schirme aufhängt oder unter eine Glasglocke bringt und aus dieser die Luft entfernt.

275. Die Kraft, womit Magnete das Eisen anziehen, ist an gewissen Stellen ihrer Oberfläche auffallend grösser, als an andern. Man bemerkt an jedem Magnete wenigstens zwei solcher Hauptpuncte magnetischer Anziehung. Zuweilen finden sich deren mehrere. Man nennt sie die Pole.

Die Pole sind leicht zu entdecken. Eisenfelle häuft sich an denselben, an einem dichten, borstigen Barte; auch tragen sie schwerere Eisenstücke, an denselben Stellen. Ihre Lage lässt sich am anschaulichsten machen, wenn man einen Glasstreifen von der Länge des Magnetstabes mittelst einem Siebs gleichförmig ausbreitet, dann den Magnet damit bedeckt und mittelst eines mässig anstösst. Die Feilspäne ordnen sich dadurch in Strahlen, die von den beiden Polen nach allen Richtungen ausgehend, sich gegen einander Magnet zum Theile so in einander verlaufen, dass dadurch geschlossene Curven entstehen.

Bei den natürlichen Magneten pflegt man die verschiedenen Stellen, die als die wirksamsten ausweisen, zu ebnen und mit Schienen von Schmiede-Eisen zu belegen, die dann in zwei dickere hervorragende Enden auslaufen. An diesen Enden muss sich also wegen der bekannten Eigenschaft des weichen Eisens die wirksamkeit des Magnets sammeln. Man verbindet beide Enden mit einem Eisenstücke, ebenfalls von weichem Eisen, dem Anker, woran die Gewichte der Magnet tragen soll, angehängt werden. Ein so ausgerüsteter natürlicher Magnet heisst bewaffnet (armirt). Man findet zuweilen natürliche Magnete von sehr bedeutender Tragkraft, die insbesondere bei kleinen Exemplaren bis zu das Hundertfache ihres eigenen Gewichtes übersteigt. Einer der kräftigsten natürlichen Magnete ist der, womit Dalla Bella in Lissabon Versuche über das Gesetz der magnetischen Anziehung und Abstossung anstellte. Er wog 38½ Pfund und war im Stande, 202 Pfund zu tragen. (Pogg. Ann. B. 15, 1842.)

276. Die meisten Magnetstäbe haben nur zwei Pole an den beiden Enden (daher der Name Pole). Die stärkste magnetische Anziehung zeigt sich übrigens niemals an den äussersten Enden. Man bemerkt, dass das schwerste Stück Eisen in einer Entfernung von 4 — 5 Linien vom Ende getragen wird. Weiter nach der Mitte hin nimmt dann das Tragungsvermögen rasch ab. Ungefähr in der Mitte ist eine Stelle, die gar keine magnetischen Wirkungen zeigt. Eine gerade Linie, welche die beiden Pole eines Magneten verbindet, heisst seine Axe; eine Ebene winkelrecht gegen die magnetische Axe durch die wirkungslose Stelle gelegt, heisst die neutrale Ebene oder auch der Aequator des Magnets.

277. Eine magnetische Stahlnadel und im Allgemeinen jeder Magnetstab mit zwei Polen, der um einen festen Punct oder um einen

ze herum freie Beweglichkeit besitzt, wird Magnetnadel.

adeln, sich selbst überlassen, nehmen stets eine Bedeutung an, in welche sie, wenn man sie daraus entfernt, leihe von Schwingungen wieder zurückkehren.

t schwingende Magnetnadeln richten sich ungefähr nach Süden. Ihr nach Norden gerichtetes Ende pflegt den Nordpol, das nach Süden gerichtete ihren Süden.

e, welche man sich durch beide Pole der ruhenden gleich durch den Mittelpunkt der Erde gelegt denkt, magnetische Meridian des Ortes, wo sich die Nadel

metische Meridian eines Ortes fällt mit seinem geographischen Meridian gewöhnlich nicht zusammen. Der Winkel, den sie bilden, heisst die Deklination. Sie hat sich an einem Orte zu verschiedenen Zeiten nicht immer gleich. Deutschland ist sie gegenwärtig ungefähr 20° westlich. t schwingende Magnetnadeln, die man eigends dazu um den magnetischen Meridian eines Ortes, so wie die zu ermitteln und welche zu dem Ende mit einem Geodäten versehen sind, werden Deklinationss-Boussolen genannt. Ihre wichtige Anwendung bei der Schiffahrt.

in man irgend einen der Pole eines kräftigen Magnets adeln von der Seite nähert, so entfernt sie sich aus dem magnetischen Meridian, indem sie den einen ihrer Pole näherten des Magnets zuwendet. Nach einer Reihe von Schwingungen erhält sie (bei unveränderter Lage des Magnets) eine neue Gleichgewichtslage, in die sie, daraus entfernt wieder zurückkehrt.

er Aehnlichkeit dieses Verhaltens mit dem der sich schwingenden Magnetnadel erklärt man das Bestreben der Nadel von Norden nach Süden zu richten, durch die Annahme, die Erde selbst ein Magnet sey, dessen einer Pol in dem nördlichen, der andere in südlicher Richtung liegt. Der magnetische Meridian eines Ortes bezeichnet genauer die Richtung, in welcher sich die magnetische Erdanziehung daselbst

ausrichtet. Der eine Pol einer Magnetnadel dem entgegengesetzt dem anderen Magnetnadel, nämlich das nördliche Ende der einen gegen das südliche der andern genähert, so ziehen sie einander an, die gleichgerichteten Pole stossen sich ab.

Die Pole sind also nicht nur der Lage nach, sondern auch der Art ihrer Wirkungen einander entgegengesetzt. Um diesen Unterschied bestimmter zu bezeichnen, hat man dem Nordpole der

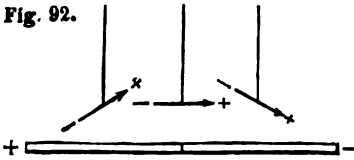
Nadel, so wie dem gleichartigen, nämlich dem abstossenden jeden andern Magnets, den Namen des positiven (+) Pols, Südpole den Namen des negativen (-) Pols beigelegt.

Den Gegensatz selbst in den Wirkungen beider Pole nennt magnetische Polarität. Ein Magnetstab, der diesen Gege äussert, z. B. die Nadel, die sich von Norden nach Süden ist magnetisch-polarisch.

Magnete können zwar mehr als zwei Pole haben, aber Verhalten nach können diese nur von zweierlei Art seyn, nämlich positive oder negative Pole, und immer findet man darunter wenigstens einen positiven und einen negativen.

280. Eine kleine Magnetnadel über der Mitte eines starken

Fig. 92.



netstabes aufgehängt (Fig. 92) nimmt eine mit der Richtung des letzteren gleichartige Lage an, doch so, dass ihre Spitze dem - Pole des Stabes, Pol sich dem + Pole des Stabes zuwendet. In dieser Lage

senkt sich die Nadel, so oft man sie daraus entfernen mag, nach einer Reihe von Schwingungen stets zurück. Rückt man ihren Aufhängepunkt gegen die Mittellinie gegen das eine oder andere Ende des Stabes, so senkt sich ihre gegen dieses Ende gerichtete Spitze. Kann man den Aufhängepunkt senkrecht über einen der Pole zu stehen, so stellt sich auch die Nadel eine senkrechte Stellung an, dergestalt, dass der gleichnamiger Pol sich dem des Stabes so weit wie möglich nähert.

Ein ähnliches Verhalten zeigen die Magnetnadeln über der Oberfläche der Erde, wenn sie im Schwerpunkte ihrer Masse aufgehängt sind. An gewissen Stellen, in der Nähe des Erdäquators behaupten sie eine wagerechte Lage. Diese Stellen bilden eine regelmässige, übrigens geschlossene krumme Linie rings um die Erde. Man nennt sie den magnetischen Erdäquator. Von dieser Linie senkt sich der positive Pol, südlich der Nordpol der Nadel. Z. B. in Deutschland und unter dem 50sten Grad beträgt die Senkung des + Pols etwa 68 Grade. Noch beträchtlicher wird die Senkung, wenn die Nadel weiter nach Norden getragen wird, und nach den Beobachtungen des Capitän Laplace stellt sie sich unter dem 70° 5' nördlicher Breite und 96° 45' östlicher Länge von Greenwich fast senkrecht. Ein ähnliches Verhalten an welchem sich die Nadel in umgekehrtem Sinne, nämlich der negative Pol nach unten, lothrecht stellt, findet sich im südlichen Polarlande. Die Erde besitzt also einen magnetischen Nordpol und einen magnetischen Südpol; der erstere liegt westlich vom geographischen Nordpole, der andere östlich vom geographischen Südpole. Es ist einleuchtend, dass der Nordpol der Nadel mit dem

atischen Nordpole der Erde nicht gleichnamig seyn kann. Die Bezeichnungen: positiver Pol und negativer Pol sind daher, weil sie Missverständnisse verhüten, bei den Magnetnadeln den Auslöcken Nord- und Südpol vorzuziehen.

281. Aus dem Vorhergehenden ist ersichtlich, dass Stahlnadeln, welche in ihrem Schwerpunkte gestützt und um diesen Punct nach jeder Richtung frei beweglich sind, sobald sie magnetisirt werden, auf der nach Norden gerichteten Hälfte ein Uebergewicht erhalten. Nadeln, die genau in der wagerechten Ebene schwingen sollen (Deklinationsnadeln), müssen daher auf dem südlichen Ende beschwert werden, mehr oder weniger, je nach der magnetischen Breite eines Ortes.

Um die Senkung oder die Inklination der Magnetnadel an einem Orte zu bestimmen, hat man besondere Werkzeuge, welche Inklinations-Boussolen genannt werden. Sie bestehen im Wesentlichen aus einem getheilten, lothrecht gestellten Kreise, in dessen Mittelpunkt eine feine Magnetnadel auf wagerechter Axe steht, so dass sie nur in der Ebene des lothrecht stehenden Kreises schwingen kann. Um den letzteren gleichlaufend mit dem magnetischen Meridian stellen zu können, dient eine zweite in wagerechter Ebene schwingende Nadel.

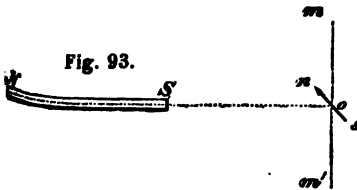
282. Die Magnetnadel ist eine Pendel, das magnetischen Einwirkungen folgt, ähnlich wie das Schwerependel der Schwerkraft.

Die magnetische Axe der Nadel während ihrer Ruhelage zeigt die Richtung der darauf einwirkenden magnetischen Kraft. Entfernt man die Nadel aus der Gleichgewichtslage, so lässt sich diese Kraft immer in zwei Kräfte zerfällen: eine, die, was immer die Lage der Nadel sey, in die Richtung ihrer magnetischen Axe fällt, die andere winkelrecht auf diese Richtung. Die erstere bewirkt eine Bewegung, die andere ist die Ursache der Schwingungen.

Ist eine Magnetnadel der gleichzeitigen Einwirkung von zwei Magneten ausgesetzt, so erkennt man aus ihrer Ruhelage die Richtung der Resultirenden beider Kräfte.

Ein Magnetstab NS (Fig. 93) werde z. B. so auf den Tisch gelegt, dass seine verlängerte Richtung den magnetischen Meridian mm' einer kleinen Boussole im Mittelpunkt der Nadel rechtwinklich durchschnei-

Fig. 93.



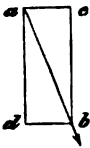
Die letztere, zur Ruhe gekommen, bildet nunmehr mit ihrem Meridiane einen Winkel nom , aus welchem, nach dem Gesetze des Parallelogramms der Kräfte, die Grösse der Einwirkung des Magneten verhältnissmässig zur Stärke der magnetischen Erdanziehung bestimmt werden kann. Beträge der Ablenkungswinkel z. B. 10° , so würden beide Kräfte einander gleich seyn. Diese Einwir-

kung eines Magnetstabs auf die Nadel ändert sich die Grösse des Abstandes (274).

Erhält der Magnetstab NS eine solche Stellung magnetische Axe mit der Linie mm' zusammenfallend nach der Lage seiner Pole, die Wirksamkeit des Eisens auf die Nadel der Boussole verstärkt, oder auch ge-
 erstere erkennt man aus der schnelleren, das letztere aus der langsameren Bewegung der schwingenden Nadel (148).
 auf zu schwingen, d. h. sie lässt sich in jeder Stellung bringen, wenn die Einwirkung des Magnets der magnetischen Wirkung gleich und entgegengesetzt ist. Dies ist theoretisch leicht vorherzusehen, erfordert für die Darstellung eine sehr kleine Magnetnadel und eine von so bedeutender Stärke, dass er schon aus der Entfernung von mehreren Füssen eine dem Erdmagnetismus gleich vorbringen kann; oder mit andern Worten, dass Verhältniss gewählt seyn muss, dass durch eine Veränderung in der Stellung der Abstände ihrer Pole vom Magnetstabe nicht wenig geändert werden können.

Die eigentliche Richtung der magnetischen Erde kennt man aus der Ruhelage der Inklinationnadel.

Fig. 94.



die in dieser Richtung wirkende Kraft a die horizontale Seitenkraft ac und in die vertikale ad zerlegt. Auf die Schwingungen der Nadel kann nur ac wirken, indem die Kraft ad in der Stütze verloren geht. — Lässt man eine Magnetnadel in einer lothrechten Ebene, welche diejenige des magnetischen Meridians rechtwinklig durchschneidet, so geht die Seite der Nadel, die in ihrer Gleichgewichtslage eine lothrechte Stellung über den magnetischen Erdpolen äussert sich die Wirkung des Erdmagnetismus in der senkrechten Richtung. Die Nadel strebt daher über den Polen sich senkrecht zu stellen, während die Deklinationnadel richtungslos oder astatisch steht.

Eine Magnetnadel, deren Aufhängepunkt in der Ebene eines geraden Magnetstabs liegt und deren Aufhängeebene diese Axe rechtwinklig durchschneidet, verhält sich wie die Deklinationnadel über dem magnetischen Meridiane ebenfalls richtungslos beziehungsweise auf die Einwirkung des Magnets.

Man kann die Magnetnadel an einem jeden Orte durch die Wirkung des Erdmagnetismus astatisch machen, wenn man sie in einer Ebene zu schwingen lässt, die auf der Richtung senkrecht steht. In Deutschland z. B. wird eine Magnetnadel astatisch, wenn die Ebene, in der sie sich frei bewe-

ischen Meridian des Ortes rechtwinklig durchkreuzt und Horizonte einen Winkel von ungefähr 22° bildet. Ein Apparat, der zur Prüfung des Verhaltens der Magnetnadel in verschiedenen Lagen unter der Einwirkung des Erdmagnetismus geeignet ist, ist Schmidt's sogenannte astatiche Nadel (Ann. B. 70, S. 243.) Aus der Zeichnung Pl. III. Fig. 2 ist der Gebrauch dieses Apparats ohne weitere Erklärung ersichtlich.

Die Geschwindigkeit einer freischwingenden Magnetnadel ist von der Grösse ihres Trägheitsmomentes (Seite 73) und von dem Einflusse der vorhandenen magnetischen Kräfte; sie schwingt unter sonst gleichen Umständen schneller oder langsamer, nachdem sie selbst mehr oder weniger stark magnetisirt ist. Ihre Schwingungen werden beschleunigt, wenn die Intensität des andern Magnets sich zu derjenigen des Erdmagnetismus verhält; diese Beschleunigung ist um so bedeutender, je grösser die Entfernung des andern Magnets ist.

Die Magnetnadel verhält sich nicht anders, als ein Pendel, das unter dem Einflusse magnetischer Kräfte schwingt, so müssen die Quadratschwingungszeiten der jedesmaligen Intensität oder der magnetischen Einwirkungen verkehrt proportional seyn oder, was dasselbe sagt, diese Intensität steht im geraden Verhältnisse zum Quadrate der Anzahl Schwingungen, die in einer bestimmten Zeit, z. B. in einer Minute, vollendet werden.

Man merkt daher, wie viele Schwingungen eine Magnetnadel in einer bestimmten Zeit unter dem Einflusse des Erdmagnetismus allein gemacht hat, und wie viele Schwingungen, welche dieselbe Nadel in einer gleichen Zeit unter dem gleichzeitigen und in gleicher Richtung thätigen Einflusse eines Magnetstabs vollendet, so müssen sich die Verhältnisse dieser Zahlen wie die magnetischen Einwirkungen in denselben Fällen verhalten. Die erste dieser Wirkungen von der zweiten abgezogen, erhält man folglich ein Mass für die Stärke der Einwirkung des Magnetstabs auf die Nadel.

Durch Versuche auf diesem Wege hat man gefunden, dass das Verhalten der Magnetnadel unter der Einwirkung magnetischer Kräfte ganz denselben Gesetzen unterliegt, wie das Verhalten des Pendels unter dem Einflusse der Schwerkraft. D. h. die Stärke der magnetischen Anziehung oder Abstossung steht im zusammengesetzten Verhältnisse der einander entgegenwirkenden oder abstossenden magnetischen Kräfte, und im verkehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung ihrer Angriffspuncte.

Das Stattfinden dieses Gesetzes hatte man schon aus theoretischen Gründen geschlossen, lange bevor Coulomb ziemlich sichere experimentelle Beweise für die Richtigkeit desselben geliefert hat. Coulomb brachte einen magnetischen Stahldraht von zwei Linien Durchmesser und 25 Zoll Länge in den Winkel einer sehr kleinen Magnetnadel lothrecht, und so, dass eines seiner

Fig. 95. Pole in gleiche Höhe mit der Nadel zu liegen kam. Beordnung (Fig. 95) konnte die Einwirkung des andern theils wegen des grossen Abstandes, theils wegen der sc tung, als verschwindend gering, unbeachtet bleiben, us als Angriffspunct aller vom Magnetstabe auf die Nade Kräfte gelten. Die letztere war an einem einzigen Cocc gehängt und nur 12 Linien lang, also so kurz, dass b Abstände des lothrechten Stahldrahts die Einwirkung auf beide Pole der Nadel, ungeachtet des ungleichen Ab selben, hinsichtlich ihrer absoluten Stärke keine me schiedenheit zeigen konnte. Der Mittelpunct der Nadel als gemeinschaftlicher Angriffspunct der in ihr thätig schen Kräfte genommen werden.

Diese Nadel, allein unter dem Einflusse des Erd machte 15 Schwingungen in der Minute.

Unter der gleichzeitigen Einwirkung des magnetischen Stahdrahtes Abstandes von 4 Zoll vom Mittelpuncte der Nadel wurden in ein Schwingungen vollendet. Betrug der Abstand 8 Zoll, so war die Zahl Schwingungen 24.

Setzt man nun die Intensität der magnetischen Einwirkung des Magnets, bei dem ersten Versuche M , bei dem zweiten M' , so ist

$$15^2 : 41^2 = m : (m + M), \text{ folglich } M = 6,47 \text{ m}$$

$$15^2 : 24^2 = m : (m + M'), \text{ folglich } M' = 1,56 \text{ m.}$$

Die Zahl 1,56 ist nahe der vierte Theil von 6,47. Die Intensität kung des Magnetpols zeigte sich also für den doppelten Abstand an Theil vermindert. Bei grösserem Abstände, als 8 Zoll, nahm die Stä netischen Einflusses in einem grösseren Verhältnisse ab, als dem φ der Entfernung, weil mit dem zunehmenden Abstände die entgegen des zweiten Pols verhältnissmässig einen mehr und mehr zunehm gewann, der endlich als messbare Grösse sich geltend machte.

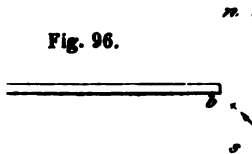
Zu ähnlichen Resultaten gelangte Coulomb durch Versuche ihm erfundenen Drehwage (Biot, traité de phys. T. 3, p. 63). Sie ze gleich den vorhergehenden, nur innerhalb sehr enger Gränzen di des Gesetzes.

Aus der Grösse der Ablenkung, welche die Magnetnadel unter kung eines Magnetstabs erfährt, der in verschiedenen Entfern winklig gegen ihren Meridian gestellt wird, entweder wie in Fig. dass die Mittellinie des Stabs in die Ebne des Meridians fällt, ha allgemein den Beweis geführt, dass die wechselseitige Einwirkung Elemente im verkehrten Verhältnisse des Quadrates ihrer Entfern

284. Alles Eisen, auch wenn es wie das Schmiede selbst magnetisch zu seyn scheint, wirkt auf die M Aber das Schmiede-Eisen wirkt auf beide Pole derselben Weise, nämlich anziehend. Der Grund ist, weil das Eis Berührung, ja schon bei der Annäherung eines Magn magnetische Polarität annimmt, in der Weise, dass an d Ende, welches einem Pole des Magnets zugekehrt ist, ein namiger Pol, an dem entgegengesetzten Ende ein gleichn entsteht. Diese Polarität besteht aber nur unter dem Ein wirksamen Magnets; durch Umkehrung desselben wird s ebenfalls umgekehrt und verschwindet, wenn er entfer

Eine Stange von Schmiede-Eisen von zwei bis drei Fuss Länge we rechter Lage so gerichtet, dass sie mit dem magnetischen Meridi rechten Winkel bildet. Man rücke sodann gegen das eine Ende dar

Fig. 96.



Pol einer kleinen Magnetnadel, gegen das andere Ende den — Pol einer zweiten. Beide werden von dem Eisen angezogen und dadurch schon aus einiger Entfernung aus ihren Ruhelagen abgelenkt werden. Nähert man hierauf allmählig von oben her dem Punkte *a* der Stange den positiven Pol, oder dem Punkte *b* den negativen

Polen Magnets, so findet man, dass bei einem gewissen Abstände die Nadeln von den benachbarten Enden der Stange abgestossen werden, welches beweist, dass bei *a* ein negativer Pol und zuin positiver Pol entstanden ist. Nach Entfernung des Magnetpols werden beide Nadeln wieder gegen den Eisenstab, um bei abermaliger von Neuem abgestossen zu werden. Stellt man hierauf den Versuch, d. h., bringt man über den Punct *a* den negativen Pol eines starken Magnets, so bemerkt man keine Abstossung der Nadeln, sie werden vielmehr vorher angezogen; bei *a* muss sich folglich in diesem Falle ein + Pol gebildet haben. Man hat es also ganz in seiner Gewalt, das Eisen polarsch zu machen und diese Polarität, so oft man will, zu verchiedene Magnete von ungleichem Trägungsvermögen unterscheiden Beziehung auf die Art, sondern nur hinsichtlich der Stärke ihrer Wirkung. Man begriff daher, dass Eisen sich nicht in der Umgebung einer Magnetnadel befinden kann, ohne nicht selbst einen geringen Grad magnetischer Polarität anzunehmen, dass z. B. bei *b* (Fig. 96) unter dem Einflusse des nahen Magnetpols ein — Pol entstehen musste.

Es ist das Schmiede-Eisen unrein; die demselben ertheilte Polarität wird dann nicht sogleich nach Entfernung des äusseren magnetischen Einflusses lange sie sich erhält, werden die Pole einer Magnetnadel nicht an beiden Enden der Eisenstange angezogen.

Stahlstangen wirken auf eine kleine Magnetnadel gewöhnlich nur leichten bereits magnetisch sind, oder fast bis zur Berührung genähert Grund ist, weil ihre Coërcitivkraft bei der Annäherung eines Magnetpols Stärke nicht sogleich überwunden wird. Aus demselben Grunde, die Coërcitivkraft die Entwicklung der magnetischen Polarität wird gehärteter Stahl auch von kräftigen Magneten nicht mit gleicher Leichtigkeit und Stärke, als das weiche Eisen, angezogen.

Die natürliche Polarität des Eisens entwickelt sich schon unter dem Einflusse des Erdmagnetismus. Eine Stange von Schmied-Eisen verhält sich nur dann magnetisch, wenn sie mit der Richtung der magnetischen Erdanziehung einen Winkel bildet.

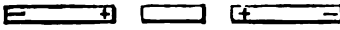
In jeder anderen Lage bildet sich an dem am meisten nach oben oder am tiefsten nach unten stehenden Ende ein + Pol, am anderen ein — Pol. Diese Polarität wird am vollständigsten entwickelt, wenn die Stange mit der ruhenden Inklinationsnadel gleichlaufend richtet.

Stahlstangen, der Einwirkung des Erdmagnetismus ausgesetzt, werden gewöhnlich nicht sogleich polarsch; wird aber eine Stahlstange in die Richtung der Erdanziehung gestellt, oder auch während sie von Norden nach Süden gerichtet ist, etwa durch Hammerschläge, so gewinnt sie allmählig einen beträchtlichen bleibenden magnetischen Polarität. Hieraus erklärt sich, warum Stahlstangen so häufig magnetisch sind.

Wenn zwei Magnetstäbe von gleicher Grösse und ungefähr gleichem Gewicht, mit ihren gleichnamigen Polen zusammengelegt, tritt ein Magnetismus ein, der ein Doppeltes von dem, was jeder einzelne tragen kann, hervorbringt, also gleichsam einen einzigen Magneten von verstärkter Wirkung. Ähnliches gilt von mehreren mit ihren gleichnamigen Polen verbundenen Magneten. Die kräftigsten Magnete bestehen

gewöhnlich aus 3 bis 5, selten aus einer grösseren Anzahl verbundener Magnetstäbe, wovon jeder zuvor so stark wie möglich magnetisirt worden war. Eine solche Zusammensetzung wird ein magnetisches Magazin genannt.

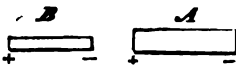
286. Wenn man einem Stücke Eisen die gleichnamigen Pole zweier ungefähr gleich starken Magnete von entgegengesetzten Seiten nähert (Fig. 97), so bleibt es unmagnetisch und wird gar nicht angezogen, weil der eine Magnet die von dem andern im weichen Eisen hervorgerufene Polarität wieder aufhebt. Dasselbe findet statt, wenn dem Eisen von ein und derselben Seite her gleichzeitig der + Pol des einen, aber — Pol des andern Magnets dargeboten wird. Hatte sich das Eisen zuvor an dem einen Magnet z. B. an seinem + Pole angehängt, so fällt es bei der Annäherung des — Poles des andern wieder



Das in der Umgebung eines Magnets befindliche Eisen ist den Einwirkungen seiner beiden Pole ausgesetzt. Wenn sich gleichwohl nicht wechselseitig aufheben, so kann der Grund einer Ungleichheit des Abstandes liegen. Einleuchtend ist es, dass der in irgend einem Punkte sichtbare magnetische Effect nichts anders seyn kann, als der Unterschied der Wirkungen, welche von beiden Polen aus in diesem Punkte hervorgebracht werden. Es geht hieraus hervor, dass die Magnete bei gleichem Abstande eine um so grössere Wirkung in der Ferne ausüben, je weiter ihre Pole aus einander liegen.

Z. B. Magnete, die hufeisenförmig gebogen sind, besitzen im Vergleich mit geraden Magnetstäben von derselben Stärke eine sehr geringe Wirksamkeit in der Ferne.

287. Werden zwei Magnete von ungleicher Stärke *A*, *B* (Fig. 98) mit gleichgerichteten Polen der genähert, so muss bei einem gewissen



Abstande der Wirkungskreis des einen z. B. des — Pols des schwächeren Magneten in den Wirkungskreis des + Pols von *A* ganz hineinfällt. So als beide Magnete in dieser Lage verharren, scheint der — Pol von *B* sein Tragungsvermögen sowie seine Wirksamkeit in die Ferne verloren zu haben. Man sagt dann: die in diesem Pole vorhandene magnetische Kraft ist gebunden. Besitzt der eine Magnetpol die gleiche Stärke wie der ungleichnamigen eines andern Magnets nicht das Ueberwiegend, so kann die Kraft des letzteren nicht vollständig gebunden werden, weil sein Wirkungskreis nur theilweise in den des andern fallen kann.

Die freie Wirksamkeit des + Pols von *B* vermehrt sich durch die Bindung der magnetischen Kraft seines — Pols, gerade so, als habe sich dieser letztere in einen + Pol von genau gleicher absoluter Stärke verwandelt. Dagegen die freie Wirksamkeit

Wenn A nimmt ab, oder seine magnetische Kraft tritt theilweise in den gebundenen Zustand. Besitzen die beiden einander ten Pole von A und B gleiche Stärke, und denkt man sie Berührung zusammengerückt, so decken sich ihre Wirkungen wechselseitig. In diesem Falle muss also eine vollwechselseitige Bindung eintreten.

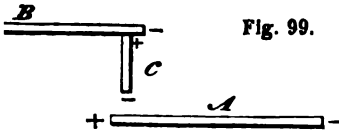


Fig. 99.

Beispiel: Ein Stück Eisen C (Fig. 99), das von einem Pole des Magnets B eben noch getragen wird, fällt ab, sobald der ungleichnamige Pol eines anderen Magnets von Oben oder von der Seite genähert wird (286). Bietet man dagegen die-

gleichnamigen Pol dem Eisen von unten dar, so wird es mit verstärkter Kraft gezogen; wurde es vorher nicht getragen, so kann es jetzt festgehalten werden. Ein Anker von hinlänglichem Umfange, so lange er mit beiden Polen verbunden ist, vertritt die Stelle eines zweiten Magnets von nahe gleicher Kraft, welcher mit dem ursprünglichen mit verkehrten Polen verbunden ist. Hufeisenmagnete mit angelegtem Anker besitzen daher eine äusserst geringe Wirksamkeit in die Ferne. Die Kraft eines Magnets kann jedoch durch den Anker niemals gebunden werden, vorausgesetzt, dass die Wirkungskreise beider Pole des Magneten der ungleichnamigen Pole des Ankers ganz zusammenfallen, oder Mittelpunkte besässen, was doch unmöglich ist.

Bei den hufeisenförmigen Magnetstäben, deren Pole durch ein Stück weiches Eisen, durch den sogenannten Anker, verbunden sind, wirkt jeder Pol verstärkend auf die Kraft, womit der andere von dem Eisen angezogen wird. Diese Form der Magnete eignet sich daher vorzugsweise, um ein grosses Tragungsvermögen zu erzielen. Ein Anker von hinlänglichem Umfange, so lange er mit beiden Polen in Berührung steht, vertritt die Stelle eines zweiten Magnets von nahe gleicher Kraft, welcher mit dem ursprünglichen mit verkehrten Polen verbunden ist. Hufeisenmagnete mit angelegtem Anker besitzen daher eine äusserst geringe Wirksamkeit in die Ferne. Die Kraft eines Magnets kann jedoch durch den Anker niemals gebunden werden, vorausgesetzt, dass die Wirkungskreise beider Pole des Magneten der ungleichnamigen Pole des Ankers ganz zusammenfallen, oder Mittelpunkte besässen, was doch unmöglich ist.

Wenn ein Pol des Magnets A (Fig. 98) dem ungleichnamigen schwächeren Magnets B näher kommt, als erforderlich ist, so erfolgt eine Zunahme in der Entwicklung der Kraft von B . Die im ungleichnamigen Pole neu entwickelte Kraft ist gleich der früher vorhandenen gebundenen, die im gleichnamigen Pole neu entstandene gelangt zur freien Wirksamkeit. Die Kraft eines Magnets wird also durch Anreihen eines mit gleichgerichteten Polen immer verstärkt. Die hierdurch erzielte Kraftvermehrung kann aber nie die Summe der Kräfte beider Magnete erreichen.

Die Kraft eines Magnets ist also lange, als Stahlstangen noch nicht bis zu dem Grade der Sättigung sind, der ihrer Coërcitivkraft entspricht, kann diese einer Entwicklung ihrer Polarität Widerstand leisten. Ist aber die Kraft bis zur Gränze seiner Coërcitivkraft polarisch gewor-

den, ist er mit Magnetismus gesättigt, so verhält er sich dem Einflusse stärkerer Magnete ähnlich wie das Schwere. D. h. er kann alsdann mit Leichtigkeit eine stärkere Anziehung nehmen, verliert sie aber auch eben so leicht wieder. Stahlstangen, die mehr Magnetismus angenommen haben, können durch ihre Coërcitivkraft allein behauptet werden, übersättigte Magnete.

Hufeisenmagnete mit anhaftendem Anker können sehr leicht gelöst werden. Durch den Einfluss des Ankers tritt nämlich der grösseren dem einem Magnete entwickelten Kraft in den gebundenen Zustand. Setzt man das Streichen mittelst eines zweiten Magnets von genügendem Gewicht, gewicht der nicht gebundenen magnetischen Kraft derjenigen gleich, die der Magnet zu Folge seiner Coërcitivkraft allein, also ohne den Anker, bleibend erhalten kann. Reisst man den Anker mit Gewaltsamkeit aller über den Sättigungspunct hinaus erzeugte und durch den Einfluss des weichen Eisens gefesselte Magnetismus.

Das Streben eines jeden Magnetpols, die Polarität anderer schwächerer Magnete, die innerhalb ihres Wirkungskreises gehen, und selbst bis zur Uebersättigung zu entwickeln, gibt bei vergleichenden Untersuchungen über die Stärke bleibender magnetischer Thätigkeit Anlass zu Fehlern. Eine Magnetnadel z. B., die vor dem Pole eines starken Magnets (übrigens unter ähnlichen Bedingungen, wie die in § 283 hervorgehobenen) in einem Abstände von 6—8 Zoll eine bestimmte Anzahl Schwingungen macht, wird, näher gebracht, rascher schwingen, und das Gesetz des Quadrats der Entfernung geschehen dürfte, weil bei dieser Nähe ihre eigene magnetische Kraft zugenommen hat.

Nadeln, deren magnetisches Verhalten unverändert bleiben soll, können keinem Magnete von sehr grosser Wirksamkeit nahe gebracht werden, müssen ferner von sehr hartem Stahle verfertigt und nur schwach magnetisirt bis zur Sättigung magnetisirt seyn.

Stahl, den man aus dem Kirschroth - Glühen gehärtet hat, besitzet eine geringere Coërcitivkraft und eignet sich deshalb sehr gut für kleine Magnete. Grösseren Stücken hält es aber schwer, solchen glasharten Stahl zu magnetisiren. Zu grösseren Magneten, namentlich denjenigen, wählt man deshalb gewöhnlich einen weniger stark gehärteten Stahl, der durch Anlassen über Kohlenfeuer theilweise wieder enthärtet.

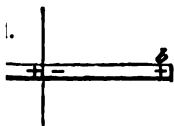
289. Zur Erklärung der Erscheinungen der magnetischen Anziehung und Abstossung nimmt man an, dass die Materie aus zwei Arten eines jeden Magnets Träger von zwei Kräften besteht, die für sich betrachtet, sich dadurch charakterisiren, dass die positiven Theile einander abstossen. Man nennt sie positive und negative magnetische Kraft (man sagt auch: die positive und negative Magnetismus), weil sie in ihren wechselseitigen Beziehungen einander entgegengesetzt sind. Sie wirken einander auf einander und treten, wenn beide in einem Punkte in solchen Verhältnissen vorhanden sind, dass die positiven genommen, Wirkungen von gleicher Grösse hervorbringen, in einen Zustand des vollkommensten Gleichgewichts über. Der natürliche magnetische Zustand genannt, wechselseitige Anziehung erstreckt sich auch auf die positiven, mit abnehmender Stärke (283).

daher den Wirkungen der einen aus der Entfernung das Gewicht zu setzen, ist stets ein, je nach der Grösse des es, mehr oder weniger grosses Uebergewicht der andern. Dies ist der Zustand der Bindung, der also niemals vollkommenen Gleichgewichtszustande beider Principe entgegen kann.

dem Magnete ist der natürliche magnetische Zustand gerade Weise, dass die positive magnetische Kraft auf der Seite des $+$ Pols, die negative auf der Seite des $-$ Pols vorwaltend die Coërcitivkraft widersetzt sich der gegenseitigen Anziehung der getrennten Kräfte und verhindert dadurch die Herstellung des Gleichgewichtszustandes.

dem unmagnetischen Eisen sind ebenfalls beide Kräfte vorhanden, aber überall im natürlichen oder Gleichgewichtszustande. Wird das Eisen in die Wirkungssphäre eines Magnetpols, so werden diejenigen Theile seiner Masse, welche die Träger der gleichnamigen magnetischen Kraft sind, abgestossen, diejenigen, an denen die ungleichnamige Kraft haftet, angezogen und dadurch in Kräfte, ähnlich wie in dem Magnete selbst und auch nach derselben Richtung getrennt oder vertheilt.

Wenn man einen Magnetstab von beliebiger Grösse in der Mitte durchschneidet, so werden die scheinbar auf beiden Seiten der Mittellinie vertheilten entgegengesetzten Kräfte nicht getrennt, sondern es entstehen dadurch zwei Magnete, jeder mit einem $+$ Pol, und zwar bildet sich an der Seite des Durchschnitte ein $+$ Pol hin ein $-$ Pol, an der andern Seite ein $+$ Pol. Wenn man beide Stücke wieder zusammengerückt, so verschwinden die neu entstandenen Pole und man erhält wieder, wie früher, einen einzigen Magneten mit zwei Polen. Kehrt man beide Stücke um und bringt man die Flächen a und b (Fig. 101) in Berührung, so verschwinden die ursprünglichen Pole und die neu ent-



stehen treten an ihre Stelle. Die in Folge der Zertheilung des Magneten an der Trennungsfläche zum Vorschein gekommenen neuen Kräfte sind also nicht erst im Augenblicke der Trennung erzeugt worden. Sie waren schon vorher da, aber gerade in dem Verhältnisse, um einander in ihren Wirkungen nach Aussen hin auszugleichen.

Man magnet, wo immer man denselben zerschneiden mag, zerfällt er in zwei Magnete. Wollte man als Durchschnittpole selbst wählen, gleichwohl würde auf der einen Seite ein $+$ Pol, auf der andern ein $-$ Pol zum Vorschein kommen. Kurz, jeder Abschnitt eines Magnets, so klein er auch sein mag, zeigt für sich wieder magnetische Polarität.

oder die eine noch die andere der beiden magnetischen Kräfte

hat also ihren Sitz ausschliesslich oder auch nur vorzugsweise auf der Seite des gleichnamigen Pols. Beide müssen vielmehr zeitig nicht nur auf den zwei Seiten der Mittellinie, sondern in jedem noch so kleinen ablösbaren Theile vorhanden wird hierdurch zu der Vorstellung berechtigt, dass die Theile, dass die Atome eines Magnets magnetische Pole besitzen.

Auf dieselbe Art lässt sich der Beweis führen, dass ein gewähltes, soeben erst magnetisch gewordenes Stahlfeder, ja dass das nur vorübergehend magnetische Schmiede-Eisen an allen Punkten zugleich positiven und negativen Magnetismus enthalten muss. Also der Magnetismus, wo er überhaupt auftreten mag, scheint nur auf die Thätigkeit der Atome zu beruhen.

Nach dem gegenwärtigen Standpunkte unserer Kenntniss in Bezug auf den Magnetismus kann man als völlig ausgemacht ansehen, dass die Polarität der Atome die nächste Ursache der magnetischen Erscheinungen ist. Ungewiss bleibt aber noch, ob diese Polarität etwas ursprünglich oder nicht selbst erst durch eine Aenderung in der inneren Beschaffenheit hervorgebracht wird. Früher suchte man nämlich allgemeine magnetische Erscheinungen aus dem Daseyn eines gewichtslosen Fluidums erklären, das sich in jedem Körper, der magnetisch werden kann, das man als den eigentlichen Träger der magnetischen Kraft ansetzt. Dieses Fluidum ist aus zwei Bestandtheilen, dem positiven und dem negativen zusammengesetzt, die sich in dieser ihrer Verbindung, absonderlich, durch keine Ausscheidung der Thätigkeit zu erkennen geben, sie sich aber aus irgend welchem Grunde und sammeln sie sich an verschiedenen Punkten eines wägbaren Stoffs, so erscheint diese Polarität. Um die Vorstellung von dem Daseyn eines magnetischen Fluidums ferner beibehalten zu können, muss man damit die Annahme verbinden, dass die Vertheilung des in einem jeden wägbaren Atome enthaltenen Magnetismus, so wie die erwähnte Bewegung seiner Bestandtheile, Gränze der Atome selbst beschränkt ist.

Geht man dagegen von der Ansicht aus, dass die magnetische Polarität eine wesentliche und bleibende Eigenschaft der Atome aller Körper ist, so kann die magnetische Polarität nicht von irgend etwas Anderem bestehen, als in einer gewissen Richtung, die den Atomen von irgend welcher Ursache verliehen wird; die Richtung nämlich, in der die Atome mit ihren ungleichnamigen Polen an einander gereiht sind, erklärt sich in diesem Falle als eine unvollkommene Bewegung der Theile, wodurch eine Aenderung derjenigen Lage, worin sie sich befinden, in den kleinsten Theile einer gehärteten Stahlstange gerade beifällt, erst

291. Da sich der Magnetismus von den materiellen Ursachen trennen oder auf andere übertragen lässt, da gleichwohl das weiche Eisen beliebig oft magnetisch werden und die in ihm erregte Wirksamkeit wieder verlieren kann, so müssen beide magnetischen Kräfte in jedem Atome vorhanden seyn, um sich wechselseitig im Gleichgewicht halten zu können. Hierdurch erklärt sich, dass ein einzelnes Atom, selbst wenn man es als ursprünglich polar ausgesetzt, unfähig ist, magnetische Wirkungen auf messbare Entfernungen hin zu erzeugen.

rich die Kraft eines von Aussen her wirkenden Magnetpols
n die gleichnamigen Pole der Atome abgestossen, die un-
namigen angezogen, wodurch diese kleinen Magnete ge-
gen sind, sich in der Ordnung, wie Fig. 102 zeigt und wie
es beim Durchschneiden eines Magnets in kleinere Stücke
nimmt, nämlich mit gleichgerichteten Polen an einander zu
n,

Fig. 102.

oder weniger vollständig, je nach der Stärke der äusseren
wirkung. Ein anderer Einfluss von Aussen ist mit Rücksicht auf
vorhergehenden Thatsachen nicht denkbar. Auch genügt er,
daraus die wahrnehmbare magnetische Polarität zu erklären.
angenommen, eine Anzahl kleiner gesättigter Stahlmagnete, alle von gleich-
Grösse und gleicher magnetischer Kraft, werden mit gleichgerichteten
aneinandergereiht, so gelangt jeder derselben unter den Einfluss aller
n, und durch diese wechselseitigen Einwirkungen kommen die in jedem
leinen Magnete haftenden, entgegengesetzten Kräfte zu einem Grade der
stung, der durch die Coërcitivkraft allein nicht erhalten werden könnte.
ste Glied der Reihe m_1 (Fig. 102) steht hauptsächlich unter dem Einflusse
nächst liegenden Pols von m_{11} und mit abnehmender Stärke unter dem
liegenden entfernteren Glieder m_{111} , m_{14} u. s. w. bis zum letzten Elemente
n die Vertheilung der Kräfte des kleinen Magnets m_1 ist diesen gemein-
lichen Einflüssen und der schon früher durch seine Coërcitivkraft allein
enem Polarität entsprechend. Auf das folgende Glied m_{11} wirken diesel-
Kräfte, aber da m_{11} von m_1 weit weniger entfernt liegt, als m_1 vom
n alle m_{11} der Reihe, so muss die magnetische Polarität von m_{11} mehr
ckel werden als die von m_1 . In m_{111} findet eine noch vollständigere Ver-
g statt, weil auf dieses Glied wieder eben so viele Kräfte wie auf die
gehenden einwirken, aber m_1 demselben näher liegt, als m_{11} an m_{11} .
Gemeinen müssen also die vertheilten magnetischen Kräfte des zweiten
tes der Reihe die des ersten, die vertheilten Kräfte des dritten Elementes
s zweiten überwiegen u. s. w. bis zum mittelsten Elemente, in welchem
Kräfte vollständig als in allen übrigen entfaltet sind. Da nun nach Vor-
zung jedes Glied das ihm vorhergehende so wie das darauf folgende, je-
inen ungleichnamigen Polen berührt, so folgt, dass die positive Kraft
ittelsten Elementes (des dritten in der Figur) die negative des vorher-
den, und die negative des mittelsten Elementes die positive des folgenden
r Figur des vierten) bindet, aber nur zum Theile wieder gebunden wird. In
er Weise bindet die positive Kraft des zweiten Elementes die negative
des ersten, die negative des vierten Elementes die positive des fünften,
ollständig wieder gebunden zu werden. So kommt es, dass auf der einen
der Reihe aller — Magnetismus in den gebundenen Zustand gelangt,
Magnetismus hingegen vorwaltend erscheint, und dass auf der andern
gerade das umgekehrte Verhältniss eintritt.
ersten Elemente kommt alle überhaupt im Zustande der Vertheilung
che + magnetische Kraft als freier Magnetismus zum Vorschein; im
Elemente nur der Unterschied $+(m_1 - m_1)$; im dritten Elemente nur
nterschied $+(m_{111} - m_{11})$ u. s. w. Der Unterschied $+(m_{11} - m_1)$ ist
ultat des vertheilenden Einflusses des ersten auf das zweite Element und
iglich kleiner seyn als $+m_1$ (288). Der Unterschied $+(m_{111} - m_{11})$
Resultat des vertheilenden Einflusses des ersten auf das dritte Glied;
nicht so gross seyn als $+(m_{11} - m_1)$, weil das erste Element dem
weit näher liegt als dem dritten. Derselbe Schluss lässt sich auf die

folgenden Elemente fortsetzen. Die freie magnetische Wirksamkeit muss also von den Enden nach der Mitte hin abnehmen und in der Mitte selbst Null werden.

Jeder fertige Magnetstab besteht aus einer grossen Anzahl neben einander liegender Reihen solcher magnetischer Elemente. An den Enden des Magnets muss also, gleich wie an den Enden jeder einzelnen Reihe von Elementen, weitaus er zusammengesetzt ist, die magnetische Thätigkeit am stärksten entfaltet seyn.

Die gleichartigen Kräfte auf einer Seite eines Magnets unterstützen sich in ihrer Wirksamkeit nach Aussen. Der gleichnamige Pol ist derjenige Punkt, durch welchen ihre Mittlere oder Resultirende geht. Die Pole können folglich nicht an den äussersten Enden der Magnete liegen, aber man sieht leicht, warum sie den Enden weit näher liegen müssen als der Mitte.

Coulomb hat die Vertheilung des freien Magnetismus in dünnen und dicken Zwischenpole bis zur Sättigung magnetisirten Stahlstäben einer scharfen experimentellen Prüfung unterworfen (Biot traité de phys. III, 70). Er fand, dass die Intensität des freien Magnetismus von den äussersten Enden an, wo sie am grössten ist, bis zu einem Abstände von ungefähr drei Zoll rasch, von da an aber sehr allmählig und fast gleichförmig abnimmt.

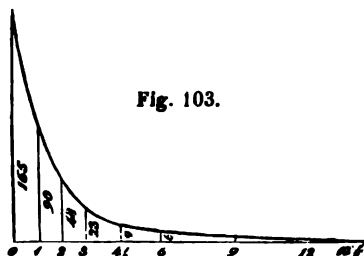


Fig. 103.

Das Gesetz dieser Abnahme ist anschaulich durch die in Figur 103 dargestellte (aus Biot's traité de phys. entlehnte) Intensitätscurve, bei welcher die Intensitäten, nach ihren relativen Grössen, in verschiedenen Abständen von einem Ende eines magnetisirten Stahldrahts von 37 Zoll Länge und 2 Linien Durchmesser auf den entsprechenden Abscissen als Ordinaten aufgetragen sind. Die Einigung dieser Curve ist an beiden Enden des Magnets gleich.

Die Länge eines Magnetstabs, in so fern sie nur 6—7 Zoll übersteigt, hat keinen wesentlichen Einfluss auf die Intensität der an seinen Enden wirkenden Kräfte, dergestalt dass die Stärke des freien Magnetismus vom äussersten Ende bis zu 3 Zoll Entfernung hin fast unverändert blieb, wenn der magnetisirte Stahldraht allmählig verkürzt wurde. Ueber diese Gränze hinaus gegen die Mitte hin wird die freie magnetische Kraft bei allen regelmässig magnetisirten Stahlstäben sehr schwach. Ganz und gar verschwindet sie jedoch nur in der Mitte.

292. Da die Kraft der Magnete nicht bloss in den Polen ihren Sitz hat, da vielmehr alle Theile der Masse zur Grösse dieser Kraft beitragen können, so beruht das zweckmässigste Verfahren, eine Stahlstange magnetisch zu machen, wesentlich darin, dass so viel irgend möglich die magnetische Vertheilung in allen Punkten der Stahlmasse und gleichmässig bewerkstelligt werde.

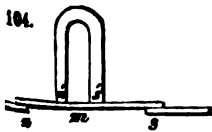
Durch die blosse Annäherung eines Magnets kann dieser Zweck nicht vollständig erreicht werden, weil die vertheilende Kraft der Magnete die entlegeneren Punkte der Stahlmasse offenbar nicht mit derselben Stärke als auf die näher liegenden einwirken kann. Dieses Verfahren ist daher nur bei kleinen Magnetnadeln anwendbar.

Ein besserer Erfolg lässt sich erwarten, wenn man einen fertigen Magnets auf dem einen Ende des noch nicht magnetischen Stahls aufsetzt und der Oberfläche entlang nach dem andern Ende (am besten unter einem Winkel von 15—20°) hin

II, 59) hinstreicht. In diesem Falle werden nach und nach Theilchen der Stahlmasse gleichmässig in Bewegung gesetzt, gleichnamigen Pole kehren sich gegen den Magnet, ihre entgegengesetzten wenden sich von demselben ab. An dem Ende der Stahlmasse, womit der Magnetpol zuletzt in Berührung war, muss folglich ein entgegengesetzter Magnetpol, an dem entgegengesetzten der gleichnamigen Pole entstehen.

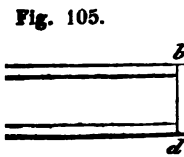
Nach dieser Behandlungsweise, auch wenn sie mehrmals immer wieder im selben Sinne wiederholt wird, können jedoch nur dünne Stahlstäbe von weniger als $\frac{1}{2}$ Linie Dicke (z. B. Uhrfedern) bis zur Länge von 1 Zoll magnetisirt werden. Ueberdiess gibt sie leicht die Veranlassung zur Bildung von Zwischenpolen, namentlich bei längeren Stahlstäben. Solche Zwischenpole entstehen jedesmal an denselben Stellen, an welchen der streichende Magnet länger als an anderen Stellen verweilt hat.

Das wirksamste Hilfsmittel, um dickere Stahlstäbe vollständig magnetisiren zu können, ist der sogenannte Doppelstrich. Man legt beide Enden des Stabs auf die entgegengesetzten Pole zweier starken Magnete (Fig. 104). Ein Hufeisenmagnet wird dann in der Mitte des Stabs aufgesetzt, gleichmässig nach dem einen und andern Ende hin und her bewegt und endlich wieder aus der Mitte lothrecht abgehoben. Während dieses Verfahrens werden die magnetischen Kräfte eines jeden zwischen die Pole n' und s' liegenden Stahltheilchens vollständiger aufgeregt, als diess sonst bei allen ausserhalb liegenden Theilen geschehen kann, dieser Unterschied ist um so bedeutender, je näher die Pole n' und s' zusammenstehen. Die magnetischen Kräfte des Stabs werden also in jedem Augenblicke der Hin- und Herbewegung des Hufeisenmagnets vorzugsweise nur nach einer Richtung vertheilt. Da sie nun in dieser Richtung durch die Einwirkung der Pole n und s sogleich gebunden werden, so kann eine neue Aufregung anderer, noch nicht vertheilter Kräfte eintreten, so lange die ganze bindende Kraft der starken Magnete n und s gesät-



igt. Die magnetischen Kräfte eines jeden zwischen die Pole n' und s' liegenden Stahltheilchens vollständiger aufgeregt, als diess sonst bei allen ausserhalb liegenden Theilen geschehen kann, dieser Unterschied ist um so bedeutender, je näher die Pole n' und s' zusammenstehen. Die magnetischen Kräfte des Stabs werden also in jedem Augenblicke der Hin- und Herbewegung des Hufeisenmagnets vorzugsweise nur nach einer Richtung vertheilt. Da sie nun in dieser Richtung durch die Einwirkung der Pole n und s sogleich gebunden werden, so kann eine neue Aufregung anderer, noch nicht vertheilter Kräfte eintreten, so lange die ganze bindende Kraft der starken Magnete n und s gesät-

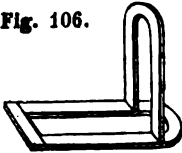
igt. wandt mit diesem Verfahren, wiewohl nicht ganz so wirksam ist das folgende: Zwei gleichlange Stahlstäbe werden gleichweit neben einander gelegt und ihre Enden durch kleine Stücke von Weich-Eisen verbunden, so dass sie ein Parallelogramm bilden (Fig. 105). Der eine Pol eines Hufeisenmagnets wird dann auf dem Punkte a des einen Stabs, der andere Pol auf dem Punkte c des andern Stabs aufgesetzt und gleichzeitig der Oberfläche beider Stäbe entlang bis an das andere Ende gestrichen;



zurück streicht man dann mit den umgekehrten Polen u. hierdurch in dem Stahle entwickelten Kräfte werden je ungleichnamigen Kräfte, die sie im weichen Eisen he gebunden, und auf diese Weise die Möglichkeit gegeb weit höhern Grad der Vertheilung hervorzubringen, als Streichen mit dem Hufeisenmagnete allein hätte bewir können.

Um einen hufeisenförmigen Stahlstab mittelst eines magnets zu magnetisiren, setzt man die Pole des letzter Biegung des ersteren auf und streicht von hier aus bis über

Fig. 106.



desselben hinaus. Der Streichmagnet ohne das Hufeisen zu berühren, nach gung zurückgebracht und dieselbe so oft wiederholt, als dadurch etwas werden kann. Beide Enden des Hufeisen dabei stets mit einem Anker verbun ben. Das Streichen muss nicht im um

Sinne, nämlich von den Enden nach der Biegung hin, v Mitte des neu zu bildenden Magnets vorstellt, bewerkst den, weil sonst an der Biegung ebenfalls Pole entstehe

Coulomb empfiehlt, zur Verfertigung von künstlichen Mag Stahlstäbe von mehr als 2—3 Linien Dicke zu verwenden; weil hatte, dass zwei gleiche Stäbe von dieser Dicke, jeder so stark magnetisirt und dann mit ihren gleichnamigen Polen verbunden, samer, als ein einziger Stab, der so dick als beide zusammen und stark wie möglich magnetisirt war.

Durch Erwärmen vermindert sich die Stärke der Magnete; z. B. nadeln aufgehängt, zeigen sie, nachdem sie einer höhern Temper setzt worden waren, eine Abnahme ihrer Richtkraft, d. h. sie mache Zeit eine geringere Anzahl Schwingungen als vorher. Ein Stahlmag unter einem rechten Winkel gegen den magnetischen Meridian bis Roth-Glühen erhitzt und dann in derselben Lage wieder erkalten lä seine Polarität bis zur letzten Spur.

Eine Zeit lang hat man geglaubt, dass die Lichtstrahlen eine polarisirende Kraft besäßen. Mit Sorgfalt angestellte Versuche von Moser, so wie auch von Seebeck haben jedoch gezeigt, dass j auf einem Irrthum beruht.

Erscheinungen der electricischen Anziehung und Abs

293. Jeder Körper kann unter gewissen Bedingung genschaft annehmen, beliebige andere, leichte oder d bewegliche Körper schon aus einiger Entfernung anzuz nach erfolgter Berührung sie wieder abzustossen. Körper diese Eigenschaft besitzen, nennt man electricisch; d schaft selbst, Electricität.

Es gibt verschiedene Mittel einen Körper electricisch z das einfachste und am längsten bekannte ist Reibung.

! Siegellackstange oder ein trocknes Glasrohr oder auch eine Scheibe
 tall, die man an einer mit Schellack überzogenen Handhabe festhält,
 mit trockenem Wollenzug oder mit Katzenpelz gerieben, so zieht sie
 Dinge wie Papierschnitzel oder kleine Stückchen Flittergold so stark
 s ihr dieselben schon aus einiger Entfernung entgegenspringen. Zum
 bleiben sie daran hängen, zum Theile werden sie sogleich wieder abge-
 t. Noch empfindlicher gegen die electricische Anziehung ist eine kleine
 ens $1\frac{1}{2}$ Linien dicke Kugel von Hollundermark, welche an einem Linnen-
 wie ein Pendel frei aufgehängt ist. Um auch die electricische Abstossung
 bachten, muss man das Hollundermarkkugelchen an einem Seidenfaden
 gen; es wird dann bei der Annäherung des electricischen Körpers, am
 der geriebenen Metallscheibe angezogen und sucht allen Bewegungen
 ben zu folgen. Nachdem aber die Berührung stattgefunden hat, scheint es
 be zu fliehen. Durch die Abstossung nach erfolgter Berührung unterschei-
 ch der electricische Zustand sogleich wesentlich von dem magnetischen.
 ! Electricität als Eigenschaft einiger Körper, insbesondere der Harze, war
 den Alten bekannt; der Name wird von dem Worte *ἤλεκτρον* (Bernstein)
 abgeleitet.

94. Der electricische Zustand ist bei den meisten Körpern nur
 geringer Beständigkeit. Schellack gehört zu denen, bei wel-
 er sich am längsten erhält. Metalle verlieren ihn am leicht-
 en. Sein Auftreten oder Verschwinden hat übrigens nicht den
 ngsten sinnlich wahrnehmbaren Einfluss auf ihre sonstige
 chaffenheit: Gewicht, Festigkeit, Grösse, Farbe u. s. w. Man
 daher den electricischen Zustand von der Gegenwart eines
 entnehmlichen, sehr feinen, flüchtigen und gewichtlosen Stoffes
 geleitet, welcher die Poren der Körper durchdringt, sich übrigens
 dem Wärmestoff (42) durch seine Unfähigkeit, auf die Atome
 wägbaren Materie unmittelbar einzuwirken, wesentlich unter-
 scheidet. Der Name Electricität, der ursprünglich nur eine Ei-
 schaft bezeichnete, ist auf diesen hypothetischen Stoff über-
 en worden.

95. Schellack oder Siegellack, auch trocknes Glas, werden
 an den Stellen electricisch, wo man sie reibt. Wird electricisch
 ordenes Schellack mit dem Finger berührt, so verliert sich nur
 der Berührungsstelle der electricische Zustand. Um das Harz in
 gewöhnlichen Zustand zurückzuführen, muss man daher mit
 Finger über seine ganze Oberfläche hinfahren.

! einer electricischen Metallplatte, die man, gleichgültig an wel-
 Stelle, mit dem Finger berührt, wird der electricische Zustand
 sich vollständig entzogen. Es ist daher unmöglich, Metalle zu
 frisiren, während man sie mit blossen Fingern hält. Fasst man
 über an Handhaben von Schellack oder von Glas, das mit
 Lackfirniss stark überzogen ist, so können sie durch Reiben
 trockenem oder zuvor erwärmtem Pelzwerk eben so leicht wie
 larz electricisirt werden.

! Metalle, wenn man sie auch nur an einer einzigen Stelle ihrer
 läche reibt, werden gleichwohl allenthalben electricisch. Be-
 man einen electricisirten Metallkörper mit einem andern noch

nicht electricen, der aber ebenfalls an einer gehalten wird, oder auf einem derartigen Fuss auch dieser den electricen Zustand an, jedoch der erstere von der Kraft, womit er vorher das del anzog, eingebüsst hat. Man muss hieraus s electriche Flüssigkeit von dem einen Metallkör übergetreten ist.

Die Fähigkeit der Electricität, sich über all fläche eines Metalles und selbst mehrerer in Be Metallstücke zu verbreiten, erklärt man aus de kleinsten Theile, einander abzustossen, und in stellt, dass die Poren der Metalle der bewegten sigkeit verhältnissmässig zur Feinheit ihrer weite Oeffnungen oder Kanäle darbieten. Ma dass Harz, Glas und andere Körper, in deren R weniger leicht eindringen kann, in Folge ihrer tur, die für eine rasche Fortpflanzung der elect geeigneten Kanäle nicht besitzen, wenn schon nicht unfähig sind, dieselbe in ihren Poren auf

296. Die Metalle und andere Körper, durch Electricität leicht fortpflanzt, nennt man Leiter welche sich mehr wie das Schellack verhalte leiter, oder richtiger schlechte Leiter ger

Zu den Leitern der Electricität gehören unter der menschliche Körper, das Wasser, feuchte kommen getrocknetes Holz, Papier, Hollu Erdreich.

Zu den schlechten Leitern, trockne : Schwefel, Seide, Wolle, Haare, ganz trockne

Dass trockne Luft ein schlechter Leiter sey, geht davon umgebener Körper im electricen Zustande Luft dagegen verlieren alle Körper, selbst die Nicht trische Beschaffenheit. Der Grund dieses Verhalten: darin zu suchen, weil die Luft durch Aufnahme von sondern weil alle festen Körper, die einen mehr, die schaft besitzen, das Wasser aus der Luft anzuzieh zu verdichten. In feuchter Luft werden sie daher Leiter verwandelt. Holz besitzt diese Eigenschaft Glas und Seide in ziemlich bemerkbarem Grade. I feuchter Luft die Electricität nicht zurückhalten sich nur in künstlich getrockneter Luft als ein insbesondere Schellack, gehören zu den am wer und halten daher die Electricität unter allen sel rück. Glasstangen ohne Höhlung, so dass im I kann, die ausserhalb mit Schellackfirniß ode überzogen sind, nähern sich in ihrer nichtleit Schellack. In Zimmern (Auditorien) vermeidet suchungen lästigen Einfluss der Luftfeucht; Luftwechsel, und indem man die einen elec durch mässiges Erwärmen relativ trocken m:

97. Wird ein electrisirter Leiter mit andern noch nicht electrisirten in Berührung gesetzt, so strebt die electricische Flüssigkeit wegen der abstossenden Kraft (Repulsionskraft) ihrer Theile, über das ganze leitende System zu verbreiten. In dem Maasse, als diess geschieht, nimmt ihre Dichtigkeit ab. Verbindet man den electrisirten Leiter mit dem Erdboden, so muss die vorhandene Electricität, indem sie sich über diesen Leiter von verhältnissmässig unendlich grossem Umfange ausbreitet, sich bis ins Unendliche verdünnen; d. h. der electricische Zustand verschwindet. Aus dem Grunde können Leiter, die in leitendem Zusammenhange mit der Erde stehen, nicht electricisch gemacht werden.

Ein Leiter der Electricität, der nur von schlecht leitenden Stoffen umgeben und dadurch von jeder unmittelbaren Verbindung mit andern Leitern getrennt ist, heisst isolirt. Isolirte Leiter können die ihnen ertheilten electricischen Zustände längere Zeit beibehalten, schon ihre eigne Masse dabei ganz ohne Einfluss ist. Die Nichtleiter, welche die Fortpflanzung der electricischen Electricität am meisten hindern und die also vorzugsweise geeignet sind, dieselbe auf den Leitern zurückzuhalten, wie die Luft, das Glas, die Seide, nennt man Isolatoren. Es gibt keinen Leiter, der ganz und gar unfähig ist, Electricität aufzunehmen und fortzuleiten. Auch die besten Isolatoren müssen daher den ihnen ertheilten electricischen Zustand nach und nach wieder verlieren.

98. Wenn ein Körper, insbesondere ein Leiter der Electricität, einen electricischen Zustand in einem schon ziemlich hohen Grade der Stärke angenommen hat, und man demselben irgend einen andern Leiter nähert, so springt, sobald die Berührung stattgefunden hat, ein knisternder Funke über, der unter günstigen Umständen auch bei Tage sichtbar ist, und welcher, wenn er einen Theil des menschlichen Körpers trifft, eine gewisse schmerzhaft empfindung bewirkt.

99. Um recht deutliche und starke Funken zu erhalten, ist es am besten, einen Leiter von bedeutendem Umfange in den electricischen Zustand zu versetzen. Diess geschieht mittelst grosser Cylinder oder Kugeln von Glas, die auf einem festen Gestelle um ihre Axen drehbar sind und dadurch an festliegenden Lederkissen, deren Oberfläche gewöhnlich mit Zink-Zinnamalgame bedeckt ist, gerieben werden. Dem Glase ist ein isolirter metallischer Leiter so nahe gebracht, wodurch während der Umdrehung fortdauernd ein Strom der Electricität des Glases auf das Metall überströmt und diesem nach Erforderniss auf andere Leiter übertragen werden kann. Vorrichtungen dieser Art nennt man Electrisirmaschinen. Der dazu gehörige isolirte Leiter führt vorzugsweise den Namen Conductor oder auch wohl erster Conductor. Ein isolirter Leiter, der mit dem ersten Conductor in leitender Verbindung

steht, verhält sich während des Gangs der Maschine ganz so wie der erste Conductor selbst. Stellt sich z. B. ein Mensch auf einen Stuhl mit Glasfüßen, so kann man, sobald er den Conductor berührt, Funken aus allen Theilen seines Körpers ziehen. Nähert er die eine Hand dem Hollundermark - Pendel, so wird es erst angezogen, dann nach der Berührung abgestossen.

Berührt man den Conductor, ohne selbst isolirt zu seyn, oder hängt man eine bis auf den Boden hinabreichende Kette daran, so kann er in keinem bemerkbaren Grade electricisch werden, weil die ganze Menge der erregten Electricität vermöge ihrer Repulsionskraft sogleich in die Erde abfließt.

300. Wenn einem mit Electricität behafteten Körper ein Leiter derselben bis zum Ueberschlagen des Funkens genähert wird, so vermindert sich die Kraft, womit er ein Pendel von Hollundermark anzieht, oder nach der Berührung abstößt; der genäherte Leiter, wenn er isolirt war, wird electricisch. Die Erscheinung des Funkens bezeichnet also den Uebergang der Electricität von einem Körper zum andern durch eine nichtleitende Luftschicht.

Man findet, dass der electriche Funke auf die besten Leiter am leichtesten überspringt.

301. Ist die in einem Körper erregte oder demselben mitgetheilte Electricität durch nichtleitende Umgebungen gehindert, sich fortzubewegen, so äussert sich die gegenseitige abstossende Kraft ihrer Theile als Druck. Dieser Druck wird electriche Spannung oder Tension genannt. Die electriche Abstossung wirkt nicht nur bei der Berührung, sondern auch, wiewohl mit abnehmender Stärke, in die Ferne. Theile eines electriche Körper, welche in der Richtung dieser gegenseitigen Einwirkung beweglich sind, müssen sich daher, wenn der electriche Druck grösser ist, als der Widerstand ihres Gewichtes, von einander entfernen.

Man befestige z. B. zwei kleine Kugeln von Hollundermark mittelst Linnenfäden oder sehr feiner Metalldrähte dicht neben einander an einem isolirten Leiter. Sobald derselbe electricch wird, entfernen sie sich aus der lothrechten Lage so weit, bis der Widerstand der Schwere mit der electriche Spannung im Gleichgewicht steht. Berührt man den Leiter mit einem andern, das ebenfalls isolirt ist, und vermindert man dadurch die Dichtigkeit des vorhandenen electriche Fluidums, so vermindert sich auch die Divergenz beider Hollundermark - Pendel. Sie kehren ganz in die Ruhelage zurück, wenn der Leiter mit dem Finger berührt wird. Die Grösse der Divergenz beider Pendel gibt also einen Anhalt für die Grösse der electriche Dichtigkeit und Spannung.

Die electriche Abstossung nach erfolgter Berührung ist eben falls eine Wirkung der electriche Spannung; denn man findet, dass nur solche Körper abgestossen werden, welche bei der Berührung electricch geworden sind, und dass die Abstossung nur so lange währt, als sie electricch bleiben.

Man hänge einen leichten, die Electricität leitenden Körper an einen Seidenfaden zwischen zwei Metallscheiben, von welchen die eine in leitender Verbindung mit der Erde steht, die andere isolirt und electricch ist; so wird er sich

selnd und in rascher Folge bald nach der einen, bald nach der andern geben und diese Oscillationen so lange fortsetzen, bis von dem isolirten die Electricität verschwunden oder doch die Wirkung derselben nicht kräftig genug ist, um das durch die Berührung mit der nicht isolirten von Electricität befreite Pendel von Neuem anzuziehen. — Das electrisckenspiel.

kleine Kugel von Schellack, als Pendel aufgehängt, ist zur Anstellung beschriebenen Versuchs untauglich, weil dieses Harz die Electricität idern Körpers nicht leicht aufnimmt, noch auch willig ist, das einmal ge-e wieder abzugeben. Umhüllt man aber die Schellackkugel mit Gold- und gibt ihr dadurch eine leitende Oberfläche, so verhält sie sich ähneine kleine Kugel von Hollundermark.

bemerkt häufig, dass das Hollundermark-Pendel an geriebenem Harze geriebenem Glase hängen bleibt. Findet jedoch Abstossung statt, so in auch immer finden, dass es nach der Berührung mit dem Finger wiezogen wird, zum Beweise, dass es Electricität aufgenommen hatte.

2. Das an einem Seidenfaden hängende und dadurch isolirte dermark-Kügelchen ist der einfachste, aber kein besonders dlicher Anzeiger electrischer Zustände. Um es, insbesondere e Einwirkung electrischer Nichtleiter, so empfindlich wie h zu machen, wird ihm im Voraus Electricität mitgetheilt. ringere Grade der electrischen Spannung entdeckt man durch vergenz zweier neben einander hängender und in leitender dnung stehender Pendel.

des Werkzeug, geeignet, die Gegenwart der Electricität in a Körper wahrzunehmen, wird Electroscop (Electricitäts-iger) genannt. Die gebräuchlichsten electroscopischen Vornngen beruhen auf der wechselseitigen Abstossung zweier r Pendel.

Fig. 107.



Die wesentlichen Theile eines Electroscops mit zwei Pendeln sind in Fig. 107 abgebildet. Zwei leichte, die Electricität leitende Pendel sind mittelst äusserst feiner Metalldrähte, die oben hakenförmig umgebogen worden, bei *b* in die Oeffnungen eines dicken, am untern Ende abgeplatteten Drahtes eingehängt und stehen dadurch mit einer Platte oder Kugel *a* von Metall in leitender Verbindung. Empfängt die letztere Electricität, so theilt sich diese den Pendeln mit, wodurch ein gewisser Ausschlag erfolgt.

Um diesen Haupttheil des Electroscops von andern Leitern möglichst abzusondern, wird der Draht mittelst Stüpseln von Kork oder Seide bei *c* und *d* in einem Glasrohr gut befestigt. Weil aber das Glas für sich nicht hinlänglich isolirt, so muss dasselbe inwendig dick gefirnisset und ausserhalb auf wenigstens 3 Zoll Länge mit einem Ueberzug von Schellack versehen werden. In der Mitte der ist eine Fassung von Metall *n n* angekittet, worauf der Ap-

parat während des Gebrauches ruht. Um zufällige Wirkungen zu begegnen, pflegt man ihn bis an einen Glasbehälter einzusenken.

Die Empfindlichkeit eines Electroscops ist neben Isolirungssysteme hauptsächlich von der Beschaffenheit abhängig. Je nachdem man einen mehr oder weniger Empfindlichkeit erzielen will, wählt man daher Hollundermark-Kügelchen oder Strohhalmen oder von unächtem oder endlich von ächtem Blattgold. Die Empfindlichkeit die Hauptbedingung ist, darf überhaupt Blattgold verwendet werden. Streifen von 2, 5 bis und etwa $\frac{3}{4}$ Linien Breite eignen sich dazu am besten.

Der Gebrauch des Electroscops mit zwei Pendeln ist zu eingeleitet und später von Cavallo, Bennet, Volta verbessert.

303. Das Hollundermark-Pendel, im Voraus in einem bestimmten Zustand versetzt, wird nicht von jedem andern electrischen Körper abgestossen. Hatte man es z. B. durch Berührung mit dem Conductor der Maschine electricirt, so wird es nicht nur von dem electrischen Glase abgestossen, sondern auch vom geriebenen Glase abgestossen, von dem electrischen Siegellackstange dagegen wird es angezogen. Hat man es durch Berührung mit geriebenem Harze oder einer geriebenen electrisch gemachten Platte electricirt, so wird es von dem electrischen Glase abgestossen, aber vom electrischen Glase angezogen.

Noch im unelectrischen Zustande befindlich, wird es weder vom electrischen Glase wie vom Harze angezogen, noch vom Harze abgestossen. Nähert man aber beide electrische Körper gleichmäßig, so findet gar keine Einwirkung statt.

Andere Körper, so viele und so verschiedenartig, die durch Reiben in den electrischen Zustand versetzt werden, verhalten sich entweder dem Glase oder dem Harze ähnlich. Ein Pendel, das mit ihm selbst electricirt gemacht, wird je nachdem es vorher durch das Glase oder durch das Harze electricirt wurde, aber dem Pendel Electricität schon zuvor, wird es von dem einen angezogen, von dem andern abgestossen.

In der Wirksamkeit verschiedener durch Reiben electricirter Körper findet also ein bestimmter Gegensatz statt. Man unterscheidet daher die positiven (+) und negativen (-) Zustände; und zwar gilt die erstere Bezeichnung für die durch Reiben des electrischen Glases ähnliche Zustände, die letztere für alle, die dem durch Reiben des Siegellacks ähnliche Zustände zeigen.

304. Die entgegengesetzte Wirksamkeit des durch Reiben des electrischen Glases und des geriebenen Harzes erklärt man durch die Existenz zweier electrischer Flüssigkeiten, der positiven (+ ϵ), und negativen Electricität (- ϵ), die jede für sich betrachtet, ganz gleich in ihrem Verhalten sind.

nach verschiedenartig sind. Sie besitzen die Eigenschaft, schon aus der Entfernung anzuziehen und wirken dadurch Pulsionsvermögen jeder einzelnen gegen sich selbst. Können sie zu einander übertreten, so verbinden sie sich in bestimmten Verhältnisse, und bilden dadurch einen für Sinne völlig un wahrnehmbaren Gleichgewichtszustand. Verhältniss, in welchem beide in dieser Verbindung (dem *Electricum*) enthalten sind, ist erfahrungsmässig durch eine gleichstarke Spannung, z. B. durch gleiche Länge zweier Strohhalm-Pendel, bewirkt durch jede der beiden Pendeln, wenn sie über gleichartige und gleichgrosse leitende Körper verbreitet sind. War die eine oder die andere im Ueberhanden, so bleibt sie mit sichtbarer Spannung zurück.

Man nehme zwei Electroscopie mit Pendeln von Strohhalm und auch von gleicher Einrichtung und Grösse. Die Metallplatte des einen werde durch Felz electrirt. Dem andern theile man die Electricität des ersten mit, so lange bis die Pendel in beiden Instrumenten denselben Aussehen. Die in beiden angesammelten Electricitäten äussern also gleiche Spannung, aber auf dem einen befindet sich nur positive, auf dem andern negative Electricität. Jetzt verbinde man beide Metallplatten mittelst eines isolirten Metalldrahts. Sogleich werden die Pendel der Electroscopie zusammenfallen, zum Beweise, dass die vorher wirksamen Electricitäten identisch sind. Hatte man beiden Instrumenten entweder nur positive oder nur negative Electricität mitgetheilt, so bleiben sie bei der wechselseitigen Berührung electrisch.

Man lege auf zwei Leitern von gleicher Grösse angehäuft und gleich gespannten Electricitäten eine nicht zu geringe Spannung besitzen, so dass sie sich schon vor der unmittelbaren Berührung beider Leiter untereinander einen Funken. Die Erscheinung des Funkens in diesem Falle bemerkt man Augenblick des Verschwindens beider electrischen Zustände.

Der erste Conductor der Maschine erhält man nur $+$ ϵ . Verbindet man diesen mit einem isolirten Leiter, so kann man auf demselben, während die Maschine betrieben wird, $-$ ϵ ansammeln. Man kann auf diese Weise einer Electrirmaschine beide Electricitäten gewinnen. Um aber eine reichliche Menge zu erhalten, muss der für die andere bestimmte Conductor der Erde verbunden seyn. Der Grund dieses Verhaltens kann erst später erörtert werden.

Die gegenseitige Anziehung beider electrischen Flüssigkeiten, so wie die Abstoßung in den Theilen jeder einzelnen stattfindende Abstoßung auch wägen können, widerspricht nicht der Unfähigkeit der Electricität, auf die Körper einzuwirken. Denn wenn die electrische Flüssigkeit in einem Körper durch die Luft und andere nicht leitende Umgebung verhindert durch eine Behälterwand eingeschlossen und dadurch verhindert Raum zu verlassen, so vermag sie einem äusseren Drucke nicht zu widerstehen, ohne den wägbaren Stoff, in dessen Poren sie sich aufhält, mit in sich zu ziehen. Wären alle Körper vollkommene Leiter, so würde die gegenseitige Anziehung und Abstoßung derselben nichts wahrnehmen.

Die Theorie von zwei electrischen Flüssigkeiten oder die dualistische electricitäre Theorie ist zuerst von Symmer aufgestellt worden und wird daher Symmer'sche Hypothese genannt.

In der Theorie früher als Symmer eine electrische Theorie entworfen, die Ursache der electrischen Erscheinungen in den Eigenschaften der electrischen Materie, von der er annahm, dass ihre Theile sich

unter einander abstossen, dass sie aber von aller wägbaren Materie angezogen werden. Dieses Fluidum ist nach seiner Ansicht durch die ganze Körper verbreitet und jeder Körper enthält im natürlichen Zustande eine, seiner ethümlichen Beschaffenheit entsprechende Menge davon; unter Umständen er aber mehr aufnehmen oder auch verlieren. Der positive electricische Zustand bezeichnet einen Ueberfluss, der negative einen Mangel an der einem Körper zugehörigen natürlichen Electricitätsmenge.

Ganz entscheidende Gründe, die eine dieser Hypothesen der andern vorziehen, lassen sich aus den bis jetzt bekannten electricischen Phänomenen herleiten. Die Symmer'sche Theorie gibt aber von mehreren Erscheinungen eine ungezwungnere Erklärung als die Franklin'sche und bietet eine sicherere Grundlage für die Rechnung; sie hat daher in der neuesten Zeit die Theorie eines electricischen Fluidum (die Theorie der Unitarier) verdrängt.

305. Die Art des electricischen Zustandes eines Körpers nur durch Vergleichung erkannt werden. Hat man z. B. dem Hollundermark-Pendel $+e$ ertheilt, so wird es von einer pelzgeriebenen Glasstange abgestossen. Von einer Schwefelstange, die man mit Wolle gerieben hat, wird es aber angezogen. Der Schwefel muss folglich mit $-e$ behaftet seyn.

Das bequemste und sicherste Verfahren, den electricischen Zustand eines Körpers zu prüfen, besteht darin, einem sehr empfindlichen Electroscop mit zwei Pendeln im Voraus eine kleine Menge Electricität von bekannter Art, z. B. $+e$ zu ertheilen. Man nähert dann von Oben den zu prüfenden Körper gleichartig electricisch, so vergrössert sich der schon vorhandene Ausschlag, weil das im Electroscop bereits enthaltene Fluidum von dem des electricischen Körpers abgestossen, sich nach den entferntesten Punkten des leitenden Systems, nämlich nach den beiden Pendeln, zu begeben sucht und hier folglich stärker angezogen wird. Ist er entgegengesetzt, in unserem Beispiele $-e$ ertheilt, so vermindert sich der Ausschlag, weil das im Electroscop enthaltene Fluidum jetzt nach Oben gezogen und dadurch aus dem Umfange der Pendel entfernt wird.

306. Wenn der dem Electroscop genäherte Körper entgegengesetzt electricisirt ist und das electricische Uebergewicht auf der einen Seite liegt, so fallen bei einem gewissen Abstände desselben die Pendel ganz zusammen, gleich als wäre alle Electricität aus dem leitendem Systeme des Electroscops entwichen. Entfernt man den electricischen Körper, so kommt die ganze frühere Spannung wieder zum Vorschein.

So lange der entgegengesetzt electricisirte Körper nahe ist, um das Zusammensinken der Pendel vollständig zu bewirken, kann das Fluidum des Electroscops durch Berührung mit dem Körper nicht abgeleitet werden. Dem Streben seiner Theile, sich in anderen Richtungen als gegen den genäherten electricischen Körper zu bewegen, ist also durch die Anziehung dieses letzteren ein Gegengewicht gesetzt.

Die Electricität, wenn sie auf die eben beschriebene

ung aus der Ferne, ihre freie Beweglichkeit verloren ebundene Electricität genannt.

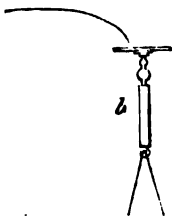
Zustand des Gleichgewichtes zwischen Attractions- und kraft der Electricität unterscheidet sich von dem aus dung beider Flüssigkeiten hervorgehenden Gleich- istance wesentlich dadurch, dass er sogleich gestört, man beide ungleichartig electrisirte Körper von einant- t, und dass, um die eine Flüssigkeit vollständig zu bin- dene im Ueberschusse vorhanden seyn muss. Auch theile der gebundenen Electricität das Vermögen, einan- osen, nicht verloren; nur kann es sich in keiner Weise odurch Richtung und Stärke der gegenseitigen Anzie- dert werden müsste.

an einen electrischen Körper, z. B. die geriebene Siegellackstange, ngesetzt electrisirten Electroscop von Unten, so fallen die Stro- h nicht zusammen, wenn gleich das darin angehäuften Fluidum ge- und nicht abgeleitet werden kann.

iese Analogie der Erscheinung der electrischen Bindung mit der- magnetischen Bindung ist unverkennbar; man vergleiche §. 287.

Die electrische Bindung ist stets wechselseitig; d. h. dem einen, noch von dem andern der beiden einander stehenden, entgegengesetzt electrischen Körper kann seitige Berührung mit dem Finger alle Electricität abge- den. Sind beide Körper Leiter, so lässt sich durch ab- le Berührung bald des einen, bald des andern allmählig eität entfernen. Denn da die vollständige Bindung des lums ein mit dem Abstände zunehmendes Uebergewicht hender Kraft auf der andern Seite erfordert, so muss auf der einen oder andern freie, d. h. ableitbare Electri- den.

zwei Electroscop *a* und *b* (Fig. 108) von gleicher Einrichtung der. Dem einen ertheile man $+$, dem andern $-$ in geringerer Menge. Auf die Platte von *a* setze man eine dünne Harzscheibe, auf diese eine zweite Metallplatte und verbinde sie mit der Platte von *b* mittelst eines isolirten Metalldrahts. War der electrische Ueberschuss in *a* gross genug, so werden die Strohhalme von *b* zusammenfallen, aber gleichzeitig wird die Divergenz in *a* sich vermindern. Berührt man die Platte *a* mit dem Finger, so verschwindet die freie Electricität von *a*, dagegen die Pendel von *b* treten wieder aus einander. Entfernt man endlich die auf der Harzscheibe liegende Metallplatte, so bildet sich auch in dem Electroscop *a* wieder ein



um Beweise, dass nicht alle Electricität desselben durch die Be- s. abgeleitet werden können.

an bemerkt, dass die Pendel des Electroscops schon bei erung eines electrischen Körpers aus einander gehen.

Die Electricität, deren Gegenwart in den Pendeln hier gezeigt wird, konnte nicht mitgetheilt worden seyn. Divergenz tritt ein, lange bevor ein Funken überspringen auch verschwindet sie bei trockner Luft spurlos, wenn der electricische Körper wieder entfernt wird. Nähert man sich von Oben, so erweist sich jene in den Pendeln wirkliche Electricität als die gleichnamige. Sie fliesst ab und die Pendel kommen zusammen, wenn das Electroscop mit dem Finger berührt wird. Aber nicht alle vorhandne Electricität konnte auf diese Weise geleitet werden; denn unterbricht man die Verbindung mit der Erde und entfernt dann erst den electricischen Körper, entsteht ein neuer Ausschlag, doch jetzt durch Electricität gegengesetzter Art bewirkt. Durch die Annäherung des electricischen Körpers muss also gleichnamige electricische Electricität zurückgedrängt, ungleichnamige angezogen und gebunden werden.

Da nun vorher weder die eine noch die andere in beiden Systemen des Electroscops bemerkbar war, so wird nun durch diesen weiteren Schlusse genöthigt, dass sich beide in ihrer ursprünglichen neutralen Electricum vorfinden, und dass diese durch die Wirksamkeit der freien Electricität schon aus der Entfernung getrennt werden kann.

Die gleichzeitige Gegenwart und das Verhältniss beider in einem Körper lässt sich durch den folgenden Versuch sehr anschaulich machen. Man verbinde zwei ganz gleiche Electroscop mittelst eines Metallstreifen mit einem einzigen leitenden Systeme und nähere dann von der einen Seite mit freier Electricität behafteten Körper. Die Pendel beider Instrumente divergiren. Man hebe ihre Verbindung auf, indem man den Metallstreifen isolirenden Handhabe ergreift und wegnimmt; dann entferne man den electricischen Körper. Beide Electroscop erscheinen nunmehr mit gleicher freier Electricität behaftet; aber das dem electricischen Körper zunächst ungleichnamig, das entferntere gleichnamig electricisirt. Stellt man die Verbindung wieder her, so fallen die Pendel zusammen.

309. Jeder Leiter der Electricität, ja jeder noch so kleine desselben, im Zustande seines natürlichen Vorkommens enthält beide electricischen Flüssigkeiten im Gleichgewichte. Die freie Electricität, wo sie sich vorfindet, zersetzt, je nach der vorhandenen Menge und der Grösse des Abstandes, einen grossen oder weniger grossen Theil des in den Leitern der Umgebungen enthaltenen neutralen Electricums. Ungleichnamige Flüssigkeiten sind angezogen und gebunden, während eine verhältnissmässig kleine der gleichartigen abgestossen wird und, wenn es die Gelegenheit gestattet, in die Erde entweicht. Die hierdurch bewirkte Störung des natürlichen Gleichgewichtszustandes nennt man electricische Vertheilung.

Die vertheilende Kraft der Electricität vermindert überhaupt die electricische Wirksamkeit, bei zunehmender Entfernung. Die Gränzen, bis zu welchen hin ein electricischer

inen wahrnehmbaren vertheilenden Einfluss übt, nennt man Wirkungskreis, oder auch seine electriche Atmosphäre.

1. Die Eigenschaft der Körper, durch Vertheilung ihres nam electricischen Fluidums electricisch werden zu können, erzarum leicht bewegliche Körper der electricischen Anziehung können, ohne den entgegengesetzten Zustand durch Mitg erhalten zu haben. In der That werden, unter übrigen n Umständen, solche Stoffe am stärksten angezogen, bei n das gleichartige Fluidum am weitesten zurückgedrängt i konnte. Z. B. das am Seidenfaden hängende Hollunderügelchen wird auffallend weniger stark angezogen als das enden Linnenfaden befestigte, weil die beiden Electricitäten steren durch die vertheilende Kraft nur um einen geringen d von einander getrennt werden können, die eine daher en so stark abgestossen, als die andere angezogen wird.

schlechter ein Körper leitet, um so weniger leicht können ihm natürlich vorhandenen Electricitäten getrennt werden. schellackkugel, pendelartig aufgehängt, bleibt daher inneres Wirkungskreises einer nicht sehr intensiven electricischen ganz unbeweglich. Hat man aber den kleinen Körper zuvor sch gemacht, oder umgibt man denselben mit Goldschaum, gter der electricischen Anziehung.

1 der anziehende Körper sowohl wie der angezogene ein ; so vereinigt sich die angezogene Electricität im Augen der Berührung mit einem entsprechenden Theile ihres Geses; beide Körper, hierdurch gleichartig electricisch gewordenen sich daher alsbald wieder ab. Nichtleiter gestatten bergang ihrer Electricität zu der ungleichartigen der ange n Körpertheile nur schwierig; die Abstossung erfolgt da gsamer, zuweilen gar nicht.

1 Ueberspringen des Funkens auf nicht electricische Körper ets eine electriche Vertheilung vorher. Sein Uebergang) in diesem wie in dem früher (12) betrachteten Falle entgegengesetzt geladenen Leiter, ein sichtbares Resultat waltamen Vereinigung beider Flüssigkeiten durch eine de Luftschicht. Hiermit übereinstimmend ist die Erfahrung, chtleiter nur einer sehr stark gespannten Electricität gegen id selbst dann nur schwierig, den Funken aufnehmen, und arselbe unter sonst gleichen Umständen um so leichter it, je vollkommner und je grösser der Leiter ist, welcher in kungskreis eines electricischen Körpers gelangt. Ein klei lter Leiter erhält weit schwächere Funken, weil seine umige Electricität nicht weit genug zurückgedrängt wer m, um ihren Einfluss auf die ungleichnamige, von der ennt wurde, ganz zu verlieren. Es ist übrigens einleuch-

tend, dass nach der Entwicklung des Funkens in der per gerade so viel Electricität und von derselben worden seyn muss, als von dem andern in den Gle zustand versetzt wurde, genau so, als wäre diese Flu dem einen zum andern übergegangen.

311. Die auf einem Leiter durch Vertheilung ent gebundene Electricität, vermöge ihres Bestrebens, entgegengesetzten Fluidum zu vereinigen, nähert ben, so weit es durch das Repulsionsvermögen Theile und die Gränzen des Leiters gestattet wird. verdichtet sich daher vorzugsweise an den dem electrischen Körper zunächst liegenden Stellen.

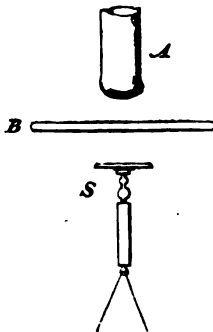
Fig. 109.



Trägt man z. B. einen isolirten L (109) über einen durch Reiben electric Harzkuchen *B*, so wird man immer fin electric Spannung an beiden Enden ist, und zwar am unteren in Folge der gel am oberen in Folge frei gewordenen — den Leiter *A*, so verschwindet die durch Spannung, und nur am untern Ende c vergenz der Strohhalme fort.

Je mehr Punkte eines Leiters de eines mit freier Electricität behafteten gegenüberstehen, so nahe als möglich, durch Atmosphärenwirkung entwickel namige Electricität zu der ursprünglich übergehen kann, um so grössere Meng ren werden gebunden, ohne dass jede der vertheilten Electricität jemals die sprünglich electricen Körper erreichen kann.

Fig. 110.



Man nähere einem bleibend Körper (etwa einer geriebener stange *A*, Fig. 110) das Electrosc bis ein Ausschlag von bestimm folgt. Man setze dann zwischen Leiter, z. B. eine Metallplatte *B*, allgemeinen Ableiter, nämlich m Verbindung steht. Der Aussch vermindern und bei hinlängliche Platte ganz verschwinden. Kom troscop einen Augenblick mit d auch unmittelbar mit der Platte in bindung, so bildet es gleichsam c liegendes Ende des der vertheil

electricen Körper dargebotenen leitenden Systeme theilte ungleichnamige Electricität, nach dem vorder

sich also vorzugsweise in der Platte ansammeln. Man sieht aus, dass in dem Raume des Electroscoops gar keine oder nur eine äusserst geringe Menge gebundner Electricität vorhanden ist, und nach aufgehobner Verbindung mit der Erde und des electricischen Körpers (*A*) nachgewiesen werden kann, indem man das Electroskop und die Platte *B* nicht gleichzeitig mit der Erde, sondern zuerst nur die letztere und dann das Electroskop verbindet. Man kann das durch Atmosphärenwirkung vertheilte ungebundene Fluidum des Electroscoops nicht zu der Platte überbringen. In diesem Falle wird daher nach Entfernung von *A* eine gleiche Ladung eintreten, als wenn das Electroskop, selbst bei beträchtlichen Abständen vom ursprünglich electricischen Körper, mit *B* in Berührung war.

Man kann auch einen Nichtleiter, z. B. eine trockne Glas- oder Harzscheibe, mit einem electricischen Körper und das Electroskop gesetzt werden. Man sieht, dass die vertheilende Kraft des ersteren unbeschäftigt bleibt, und dass die Harze vorhandenen natürlichen Electricitäten nicht abgeleitet werden können. Da demnach ein Nichtleiter im natürlichen Zustande unfähig ist, die electricische Thätigkeit selbst zu beibehalten, so kann er auch den Aeusserungen derselben auf die Hindernisse entgegenzusetzen. Daher kommt es, dass die Wirkung des Glas und andere schlechte Leiter die Wirkungen der freien Ladungen verhindern, Anziehung und Abstossung, um so wie die Luft durchlassen, je befähigter sie sind, die Electricität

Betrachtung der Electricitäts-Erzeugung durch Reibung.

Wenn zwei Körper durch Reiben werden immer beide Electricitäten zugleich erzeugt, und zwar nimmt der eine der reibenden Körper $+ \epsilon$, der andere $- \epsilon$ auf, in dem Verhältnisse, dass beide einander das Gleichgewicht halten können.

Man lege auf dem Electroscope eine Metallplatte, deren obere Fläche eben ist, und reibe sie mit der gleichfalls ebenen Fläche eines andern, electricischen Körpers, z. B. mit einer Glas- oder Harzscheibe. Keine merkliche Divergenz wird bemerkbar. So wie man aber beide Körper trennt, erscheint der eine mit $+ \epsilon$, der andere mit $- \epsilon$ beladen.

Man sieht aus dem Vorhergehenden hervor, dass der Reibungsprocess eine Zersetzung der neutralen Electricitäten an den äussersten Oberflächen zweier zusammengebrachter Körper herbeiführt; wobei aus Gründen, die bis jetzt unerklärlich sind, eine Princip auf dem einen, das andere auf dem andern Körper wird. Beide jedoch, da sie in Folge ihres Ursprungs in gleichem Verhältnisse vorhanden sind, binden sich wechselseitig und können also nur durch Trennung der Körper wahrnehmbar werden.

Die Art des electricischen Zustandes, welchen ein Körper durch Reiben erhält, richtet sich nach der Beschaffenheit des

Reibzeugs. Z. B. in der folgenden Reihe von Körpern w
welcher, den man auswählen mag, mit einem der über i
den gerieben, negativ, durch alle nachfolgenden positiv

Katzenfell,	Seide,
Fuchsschwanz,	Siegellack,
Polirtes Glas,	Mattgeschliffenes
Wolle,	Metall,
Papier,	Schwefel.

Diese Reihe ist übrigens nur annähernd richtig, we
die eigenthümliche Beschaffenheit eines Stoffes, sonder
äusserer Zustand und selbst die Art des Reibens auf
der darauf erregten Electricität von Einfluss seyn könn

So findet man, dass mattgeschliffenes Glas gegen polirtes und
Schellack negativ electricisch wird. Erwärmtes Glas wird nega
durch Reiben mit kaltem Glase. Ueberhaupt rückt ein Körper in
schen Reihe, wie die hier aufgestellte, durch Erwärmen abwärts. I
stande hat man die Erklärung gesucht, warum von zwei weissen
dern, aus demselben Stücke genommen, die kreuzweise über ein
werden, das der Länge nach geriebene $+$, das in die Quere g
annehmen müsse. Letzteres nämlich, da es sich an weniger Punct
stärker erwärmt.

314. Man bemerkt, dass ein unter den vorher zu
stellten Körpern beliebig gewählter durch Reiben um
electricisch werden kann, je weiter das aus derselben
wählte Reibzeug davon absteht. Um z. B. Siegellack
electricisiren, ist Pelzwerk das geeignetste Reibzeug; u
lirtes Glase $+$ zu ertheilen, ist Wolle weit weniger v
Metall. Das beste Reibzeug für Glas ist das Kienm
Amalgam (2 Theile Quecksilber, 1 Theil Zinn, 1 Theil
gegengesetzte electricische Zustände werden indessen
erhalten, wenn man dem Anscheine nach ganz gleich
per, z. B. zwei polirte Glasplatten, zusammenreibt.

Die zwischen zwei Körpern durch Reibung bewirkt
dung der electricischen Flüssigkeiten kann über ein
Gränze hinaus nicht gesteigert werden. Diese Gränze i
wenn die bei der Reibung thätige zersetzende Kraft, v
den Leitungswiderstand, mit der gegenseitigen Anziel
Flüssigkeiten oder mit ihrem Bestreben, sich wieder zu
ins Gleichgewicht getreten ist. Von den beiden auf ei
riebenen Stoffen muss immer wenigstens der eine ein
Leiter seyn; Alles, was die Leitfähigkeit dieses letztere
z. B. Feuchtigkeit, vermindert die Anhäufung der erze
tricitäten.

315. Schlechte Leiter werden zunächst zwar nur
riebenen Stelle electricisch. Es scheint jedoch, dass freie
an der Oberfläche eines schlechten Leiters nicht auftre
ohne dass ein verhältnissmässiger Theil des entgeg
Fluidums im Innern ausgeschieden werde. Denn wenn

ibe von trockenem Glase oder Harze auf der einen und dadurch electricisch wird, so nimmt die andere gegengesetzten electricischen Zustand an; zwar in gele der Spannung und häufig auch nicht sogleich. Führt zu reiben, oder überlässt auch nur die Platte in sich selbst, so werden die beiden gegenüberliegenden einiger Zeit unfehlbar ungleichnamige electricische en.

ehrere dünne Scheiben auf einander gelegt und nur andere der äussersten Oberflächen gerieben, so werl alle, wiewohl in abnehmenden Graden, electricisch, let man, dass jede Scheibe, für sich geprüft, auf der t der geriebenen Oberfläche gleiche Lage hatte, die uf der abgewendeten Fläche die ungleichartige Elec-

r einen Seite einer nicht leitenden Scheibe durch Reibung entität über die auf der andern Seite auftretende ungleichnamige it hat, so lässt sich die letztere gewöhnlich nicht unmittelbar it man z. B. eine dünne Harzscheibe mit der nicht geriebenen Platte eines Electroscoops, so wird das letztere gleichwohl ren und + E. wird gebunden. Hat man aber zuvor die obere, geles Harzes mit einer andern Metallplatte bedeckt, so richtet nde Kraft der — E. des Nichtleiters vorzugsweise gegen die tricitäten des zunächst liegenden Leiters. Jetzt wird daher + E. ie gebunden, das entsprechende — E. abgestossen. Führt man ührung mit dem Finger in die Erde ab, so wird durch die zund gebundene + E. das Uebergewicht der — E. auf der gerlebe-arzscheibe beschäftigt, daher die + E. auf der nicht geriebenen it. Die Wirkung auf die natürlichen electricischen Flüssigkeiten ist nunmehr gerade die umgekehrte von vorher; nämlich — E. nd + E. abgestossen.

bleibend electricische Vertheilung, wie durch Reiben, kann in cknem Glase oder Harze auch durch die Atmosphärenwirkung en electricischen Körpers hervorgerufen werden, in der Art, dass hen Körper zugekehrte Fläche des Nichtleiters den ungleich-ewendete den gleichnamigen Zustand annimmt.

ichzeitige Entwicklung beider Electricitäten auf einem schlech-ränken sie wechselseitig ihre Wirkungskreise, werden aber s eben dadurch auf der nicht leitenden Materie besser zurück-ine Glas- oder Harzscheibe auf beiden Seiten gerieben, so dass a gleichartige electricische Flüssigkeiten entwickelt werden, so ese wechselseitig ab; die ganze auf einer Seite entwickelte er jetzt leichter auf andere Körper übertragen werden und chbarte Leiter selbst in Gestalt eines Funkens über.

Electrisirmaschine.

in Gesetzen der Electricitätserzeugung durch Reiben, nrichtung der Reibungs-Electrisirmaschine. Sie be-erits erwähnt wurde, aus drei wesentlichen Stücken: ht leitenden Körper, der gerieben wird, einem guten imentalphysik.

Leiter, der als Reibzeug dient, und dem Conductor, bestimmt, auf dem geriebenen Körper erregte Electricität zu sammeln.

Das beste Material für den geriebenen Körper ist weisses hartes, wenig Kali haltiges und dadurch wenig hygroskopisch Glas. Man verwendet es in Gestalt von runden Spiegelscheiben oder hohlen Cylindern, die auf wagerecht liegenden Axen sitzen um welche sie mittelst Kurbeln gedreht werden und dadurch in dem festliegenden, mässig angedrückten Reibzeuge reiben. Dieses besteht gewöhnlich aus einem Lederkissen, worauf eine Lage des Kienmaier'schen Amalgams mit etwas Schweinefett mengt, gleichförmig ausgebreitet ist. Dieser metallische Ueberzug muss von Zeit zu Zeit erneuert werden, weil das Zink während des Gebrauchs sich oxydirt, wodurch, wie die Erfahrung lehrt, seine Wirksamkeit sich vermindert. Um die Electricität des Reibzeugs sammeln zu können, muss dasselbe eine isolirende Unterlage haben und mit einem isolirten Leiter von grösserem Umfang in Verbindung stehen.

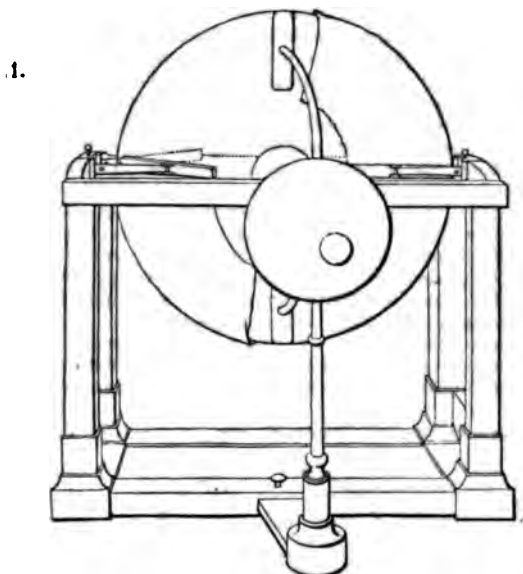
Der erste Conductor, von Holz mit Metallpapier überzogen, ist besser von Messigblech, ruht auf einem 2 — 3 Fuss hohen über 1 Zoll dicken Glasfusse ohne Höhlung. In den Wirkungskreis des mit + E. beladenen Glases gebracht, werden seine natürlichen Zustände vorhandnen Electricitäten vertheilt; seine - angezogen, verbindet sich bei genügender Annäherung mit + E. des Glases, während seine eigne + E. frei wird. Man bedient diese Wirkung durch die Gestalt des Conductors, die so beschaffen sein muss, dass er der an ihm vorübergehenden geriebenen Glasfläche, in möglichst geringem Abstände, eine Fläche von entsprechender Breite darbieten kann. Auch pflegt man den gegen das geriebene Glas gerichteten Theil desselben, den sogenannten Einsauger, mit einigen Spitzen zu besetzen. We der Einsauger eine zweckmässige Gestalt und Grösse hat und dem Glaskörper nahe genug steht, so kann er dem letzteren während des Vorübergangs, fast alle durch Reiben darauf erregte Electricität entziehen. Die von dem geriebenen Körper entfernteren Theile der Oberfläche des Conductors müssen glatt abgerundet sein und dürfen keine Ecken oder hervorragenden Stellen zeigen.

Um das Ueberspringen des electrischen Funkens vom Conductor auf das Reibzeug zu verhindern, müssen beide so weit von einander entfernt stehen. Damit aber die mit Electricität beladene Glasfläche nicht schon vor ihrer Ankunft an dem Conductor durch Berührung mit der Luft, einen Verlust erleiden könne, deckt man sie mit einem Streifen Wachstafel, der am Rande des Kissens angenäht ist, und bis in die Nähe des Einsaugers reicht.

Die Glasfüsse so wie der Glaskörper müssen vor dem Gebrauche mit warmen wollenen Zeugen abgerieben werden. Feuchtigkeit, Staub und etwa anhängendes Amalgam zu entfernen.

in die Luft feucht ist, erhält man dessenungeachtet auch kräftigsten Maschinen nur geringe Wirkungen. Um ihre Leistung zu steigern, muss man dann suchen die umgebende Luft zu erwärmen und sie auf diese Weise relativ trockner

zu machen. Scheibenmaschinen werden am häufigsten gebraucht. Eine runde, polirte Scheibe von höchstens 3 Linien Dicke und 20 bis 60 Zoll Durchmesser



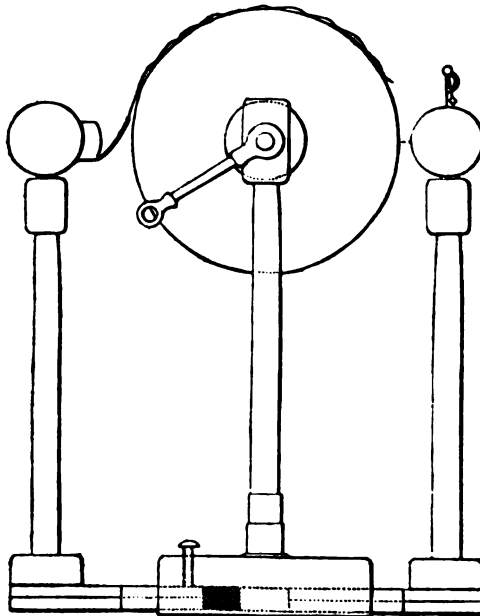
Mitte durchbohrt. Durch dieses Loch geht eine Axe, bei kleinen Maschinen aus Holz, bei grösseren von Eisen, worauf auf der einen Seite des Discs ein halbkugelförmiges Stück von trockenem hartem Holz fest aufsitzt. Auf der andern Seite des Discs, mittelst eines in die Disc eingesetzten Gewindes gegen die Scheibe gepresst, und dadurch diese beiden halbkugelförmigen Stücken fest eingeklemmt. Beide Stücke sind gegen die dem Glase zugekehrten Fläche mit weichem Leder gefüttert. Auch bevor man sie aufsetzt, scharf getrocknet und mit Bernsteinfirniss überzogen werden. Als Reiber dienen eben abgeschliffne Messingstreifen, worauf ein glattes Leder, in welches das Amalgam eingerieben wird, flach aufgelegt ist. Je zwei derartige Streifen, in passend hergerichtete, federnde Halbkreise (p. 111) so eingeschoben, dass sie die Scheibe von beiden Seiten einwickeln können, ohne doch der Bewegung derselben folgen zu können, bilden ein Gestell, an dem die beiden federnden Arme oder Träger sitzen am Gestelle der Maschine, so dass sie gegen die Scheibe gedrückt oder auch davon abgehoben werden können. Beide sind, nahe dem Umfange der Scheibe, mittelst einer Feder verbunden, das am einen Ende in eine Schraube ausgeht; durch die Schraube werden beide Reiber zugleich und mit gleicher Stärke gegen die Scheibe gepresst. Ein mässiger Druck reicht schon hin, um das Amalgam der Electricitätserregung zu erzielen. Man pflegt die Reiber halb so breit als den Halbmesser der Scheibe. Ein Zoll Breite genügt. Eine Scheibe zeigt sich sogar in der Regel als nachtheilig; denn es ist nicht

leicht, das Amalgam über eine grössere Fläche gleichförmig an jeder Punct aber, an welchem keine Reibung stattfindet, bietet den Electricitäten eine Gelegenheit, wieder zu einander überzutreten. Breifen, indem sie, um mit dem Glase in genügende Berührung zu kommen, grösseren Druck in Anspruch nehmen, erschweren also den Betrieb der Maschine, ohne, selbst im günstigsten Falle, einen entsprechenden Vortheil zu gewähren. Es sind an der Scheibenmaschine gewöhnlich zwei Reibzeuge gegenüberstehenden Enden desselben Kreis-Durchmessers angebracht, einer Entfernung von 90° von jedem Reibzeuge befindet sich, gewöhnlich auf einer Seite der Glasplatte, ein Einsauger von Messingblech von der Länge des Reibkissens gleichen Länge. Die äussere Fläche desselben ist abgerundet, der Rand gegen die Scheibe hin umgebogen und abgerundet, die innere Metallfläche ist hohl und mit Spitzen versehen. Von jedem Einsauger führt ein Arm zu dem kugelförmigen Conductor. Der Fuss des letzteren ist auf einem Brette, das sich in das Gestelle der Maschine einschleiben lässt, befestigt, um den Zweck zu haben, die Einsauger der Glasscheibe möglichst nahe zu rücken.

Scheibenmaschinen, auf die beschriebene Weise eingerichtet, können in beträchtlicher Grösse ausgeführt werden. Man kann von 20—60 Zoll Durchmesser; auch lassen sich zwei neben einander auf derselben Axe anbringen. Sie haben vor den Cylindermaschinen den Vortheil, dass das Glas auf beiden Seiten gerieben wird, wodurch die Entwicklung der Electricität gesteigert und ihr Uebergang auf den Conductor erleichtert wird. Die Ebne und Glätte der Scheibe gestattet ein leichtes Anschmiegen des Reibzeugs und daher bei mässigem Drucke eine vollkommene electricische Erregung. Diese Maschinen sind aber gewöhnlich nur zur Erzeugung von positiver Electricität eingerichtet; die gleichzeitige Erzeugung der negativen Electricität erfordert Isolirung der Reibzeuge, wodurch die Arbeitbarkeit leidet.

Die Cylindermaschinen sind immer für die gleichzeitige Gewinnung

Fig. 112.



Flüssigkeiten berechnet und lassen sich zu diesem Zwecke mit dem wenigsten Kostenaufwande einrichten. Fig. 112 zeigt einen solchen Maschine in $\frac{1}{10}$ natürlicher Grösse.

Der Cylinder von 1,5 — 2 Fuss Länge und 12 Zoll Durchmesser dreht sich auf zwei Glassäulen, die seiner Axe zu Stützen dienen. Die Cylindricontactoren auf beiden Seiten desselben und mit ihm gleichlaufend, haben die gleiche Länge, so dass sie auf der der Kurbel gegenüber liegenden Seite über den Glaskörper hervorstehen. Ihre isolirenden Füsse sitzen auf den entsprechenden Oeffnungen des Gestelles eingelassen und sind rückwärts bewegbar. Der eine Conductor, zur Aufnahme der + E. bestimmt, ist gegen den Glascylinder gerichteten Seite mit Spitzen besetzt, der andere das Reibzeug. Letzteres besteht aus einem mit Pferdehaaren auslederkissenen von gleicher Länge mit dem Glascylinder, dessen Funktion durch die Zeichnung verständlich ist.

Während des Betriebes einer Cylindermaschine beide Conductoren so zeigen sie beide freie Electricität, aber nur von geringer Stärke, wenn eine gewisse Gränze der Spannung eintritt, wobei die — E. des Reibzeugs zur + E. des Glases übergeht (314). Verbindet man das Reibzeug mit dem + E., so kann sich keine freie — E. darauf erhalten; die + E. des Glases daher einen höhern Grad der Spannung annehmen, bevor sie die Berührung, sich mit der im Reibzeuge im gebundenen Zustande befindlichen Flüssigkeit unmittelbar zu vereinigen. Steht der Conductor in Verbindung mit dem allgemeinen Ableiter, so gibt die an ihm befindliche Glasfläche beinahe die ganze darauf durch Reibung frei gewordene Electricitätsmenge ab, und kommt in einem fast unelectrischen Zustande mit dem Reibzeuge in Berührung, daher jetzt dieses, wenn es das Maximum der electricischen Spannung annimmt. Werden beide Conductoren mit einander in leitende Verbindung gesetzt, so zeigt keiner eine Spur von freier Electricität.

317. Um electricische Zustände von hoher Intensität, wie sie mit der Electrisirmaschine erhalten werden können, ihrem Grade nach zu bestimmen, gebraucht man gewöhnlich das Henley'sche Electrometer. Es ist ein einfaches, leicht bewegliches Pendel (Fig. 113), das im unelectrischen Zustande senkrecht hängt, so wie sich aber Electricität auf dem Conductor anhäuft, abgestossen wird. Die Grösse der Divergenz misst man an einem Gradebogen, der auf einem Streifen von Glas oder Elfenbein aufgetragen ist. Daher der Name Quadranten-Electrometer. Dieses Werkzeug ist übrigens weniger geeignet um die Verschiedenheiten in der Stärke der electricischen Spannungen zu messen, als vielmehr um dieselben wahrzunehmen und die Spannungen von gewisser Grösse immer wieder zu

erhalten. Um die Stärke des Quadranten-Electrometers erhält man nur eine Vorstellung von der Spannung der auf einem Conductor angehäuften Electricität, oder über die Grösse des Bestrebens dieser Flüssigkeit, den Körper zu übergehen. Die Stärke der electricischen Funken und die Wirkungen der übergehenden Electricität hängen ab von ihrer Spannung und vorhandener Menge.

ab. Ein Massstab für die letztere ist bei übrigens gleicher die Grösse der Oberfläche des Conductors.

Vergrössert man den Conductor, indem man z. B. einen oder mehrere isolirte Leiter damit in Verbindung nimmt, so nimmt auch die Electricitätsmenge zu, welche während des Betriebs der Maschine gesammelt und durch den überschüssigen Funken auf einmal entladen werden kann. Weil aber theils die isolirenden Füsse, theils unmittelbar durch die Luft während der Electricität entweicht und weil dieser Verlust bei zu hoher Spannung ebenfalls zunimmt, so kommt es, dass selbst bei den günstigsten äusseren Verhältnissen eine gewisse Grenzfläche nicht überschritten werden darf, obgleich das Maximum der erreichbaren Spannung und folglich die Wirkung des Funkens abnimmt.

Als Regel gilt, dass die Oberfläche des Conductors nicht grösser sein dürfe, als die geriebene Fläche des Glaskörpers, die Gestalt, dass das Maximum der Ladung und Spannung durch die volle Umdrehung erhalten werden könne. Diese Annahme ist durch die Erfahrung nicht mit Sicherheit festgestellt. Genügt es nur, dass mittelst einer geriebenen Glasfläche von geringerer Dehnung, ein Conductor von beträchtlicher Grösse durch viele Umdrehungen nicht stark geladen werden kann.

Leidner Flasche. Verstärkte Electricität.

318. Mit Hilfe einer Geräthschaft, welche Fränklin'sche Tafel genannt wird, ist man im Stande, die Capacität eines Conductors zu vergrössern ohne gleichzeitige Vergrösserung seiner Oberfläche, und folglich ohne Nachtheil für die Intensität der auf der Oberfläche sich ansammelnden electricischen Flüssigkeit.

Die Fränklin'sche Tafel ist eine dünne Glasscheibe, an beiden Seiten bis etwa zwei oder drei Zoll vom Rande ab mit Zinnfolie belegt. — Man verbinde die eine Belegung mit dem positiven Conductor einer Electricitätsmaschine; freie + E. sammeln sich darauf an und durch das Glas vertheilend auf die andere metallische Belegung (*B*) einwirken. + E. kann auch von dieser abgeleitet werden, während die früher da gesammelte — E. durch die + E. der Belegung *A* abgeleitet wird. Die electricische Bindung ist aber stets wechselseitig, auf *A* gesammelte + E. verliert daher, in der Richtung gegen *B* hin, ebenfalls einen Theil ihres Repulsionsvermögens. Daher neuer Zudrang von + E. von dieser Seite her; Neuem kann auch aus der Belegung *B* ein Funken gezogen werden, und so fort, bis das auf der Belegung *A* erforderliche Uebergewicht an freier Electricität die Dicke des Glases bedingte Uebergewicht an freier Electricität überwiegt.

das Maximum der Dichtigkeit, welche dem Conductor an dieser Stelle überhaupt ertheilt werden kann, angenommen hat. Auf der Franklin'schen Tafel kann also, bei gleicher Flächengrösse eine ungleich grössere Menge von Electricität aufgehäuft und verdichtet werden, als auf dem Conductor, ohne dass doch ihr Repulsionsvermögen und mit diesem ihr Bestreben zu entweichen sich vergrössert hat. Uebrigens erkennt man zugleich, dass die ganze Menge der auf diesem Wege gesammelten Electricität mit der auf dem Conductor herrschenden electricischen Dichtigkeit in geradem Verhältnisse stehen muss.

Wird die Belegung *B* während des Betriebs der Maschine in ständige Verbindung mit der Erde gesetzt, so müssen die eben beschriebenen Wirkungen in unausgesetzter Folge eintreten. Man bemerkt dann, dass die Belegung *A*, die mit dem Conductor in Berührung steht, anfangs fast alle Electricität desselben aufnimmt, so dass das Henley'sche Electrometer nur einen sehr geringen Ausschlag gibt. Die Spannung steigt aber allmählig und erreicht nach einigen Umdrehungen dieselbe Grösse, welche ohne die Gegenwart der Franklin'schen Tafel hätte eintreten müssen. Letztere befindet sich dann im Maximum der Ladung. Durch Annäherung eines isolirten Leiters kann man abwechselnd bald aus der einen bald aus der andern Belegung der geladenen Tafel einen Funken ziehen, dessen Stärke dem jedesmaligen Uebergewichte an freier Electricität entspricht. Wird ein guter Leiter, der mit der einen Belegung in unmittelbarer Berührung steht, der andern Belegung genähert, so treten bei einem gewissen Abstände (welcher je nach der Grösse der Spannung verschieden ist), der sogenannten Schlagweite, beide angesammelten Electricitäten auf einmal einander über. Dieser Uebergang, der electricische Schlag, ist von einem weit stärkeren Funken, als ihn der Conductor liefern kann, und einem verhältnissmässig starken Knalle begleitet. Häufig können beide Flüssigkeiten schon während der Ladung und bevor noch das Maximum der Spannung erreicht ist, plötzlich vollständig einander über. Eine solche freiwillige Entladung findet statt, wenn der nicht belegte Rand der Glastafel nicht breit genug, oder wenn er vollkommen trocken, oder aus irgend einem andern Grunde nicht isolirend genug ist.

Der electricische Schlag, wenn er durch den menschlichen Körper geht, bewirkt eine heftige, schmerzhaft, aber nur augenblickliche Erschütterung. Befinden sich mehrere und selbst viele Personen in dem Kreise guter Leiter, durch welchen beide Electricitäten einander übertreten, so empfinden sie alle gleichzeitig, hauptsächlich in den Armgelenken, diesen eigenthümlichen Nerveneink.

Mittels des Ausladers (Fig. 114) lässt sich die Entladung gefahrlos bewerkstelligen. Zwei in Knöpfe ausgehende Me-

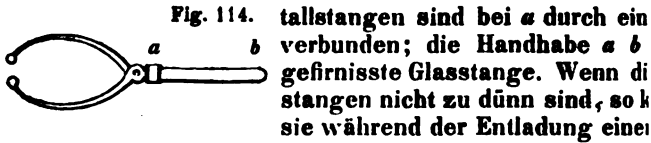


Fig. 114. Metallstangen sind bei *a* durch ein Gefirniss verbunden; die Handhabe *a b* gefirnissste Glasstange. Wenn die Stangen nicht zu dünn sind, so kann sie während der Entladung einer Flasche in die Hände nehmen, ohne befürchten zu müssen, dass der Schlag durch den Körper gehe. Denn die Electricität leitet zu ihrem Durchgange immer die besten Leiter, und die meisten vielen hunderttausendmal besser als der menschliche Körper.

Fig. 115.



Die Leidner Flasche, auch Verstärkerflasche genannt, (Fig. 115) ist nur eine verbesserte für den Gebrauch bequemere Form der Fränke'schen Tafel. Sie ist innerhalb wie ausserhalb, bis 2 Linien vom obern Rande abstehend, mit Zinnblech überzogen und um die metallische Verbindung mit der inneren Verbindung zu erleichtern, erhebt sich vom Boden der Flasche eine Metallstange, die oben mit einer Kugel versehen ist. Die Grösse der belegten Fläche der Leidner Flasche richtet sich nach der Grösse der zu belegenden Fläche. Mittelst kräftig wirkenden Maschinen können von 10 und mehr Quadratfuss Belegung vollständig belegt werden. Statt solcher grossen Flaschen verwendet man mehrere kleinere, deren äussere Belegungen sämmtlich mit der Erde in Verbindung stehen, während die zu den inneren Belegungen führenden Drähte zu einem einzigen leitenden Systeme verbunden sind. Eine derartige Verbindung mehrerer Flaschen wird als electricische Batterie genannt.

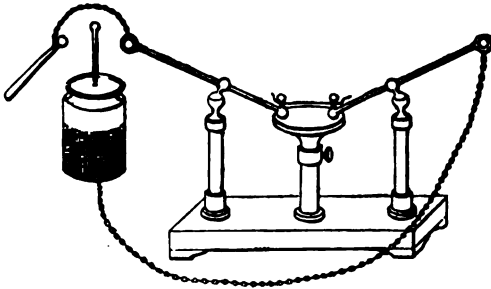
319. Die Wirkung des Schlags einer stark geladenen Batterie, oder auch nur einer grossen Flasche, auf einen thierischen Organismus ist äusserst heftig und kann selbstlich werden. Kleinere Thiere werden dadurch getödtet. Die menschliche Haut ist ein besserer Leiter als den menschlichen Körper, z. B. durch die Drahte von beträchtlicher Dicke, entladen sich beide Elektroden ohne irgend eine wahrnehmbare Einwirkung. Dagegen sind materielle Mittel, durch deren Dazwischenkunft ihr Uebergehen zu einander erschwert wird, ohne doch ganz gehindert werden können, erfährt, je nach seiner Leitfähigkeit und sonstigen Eigenschaften, eine mehr oder weniger grosse Veränderung in physikalischen oder chemischen Zustandes.

Schlechte Leiter, wie trocknes Holz, Papier, Glas, Harz, durchbohrt, zerrissen, zersplittert und oft, wie durch eine ausdehnende Kraft zersprengt und ihre Theile weggeschleudert. Verbrennliche Stoffe können dabei bis zur Rothgluth erhitzt werden. Selbst gute Leiter, deren Querschnitt zu gering ist, um die vorhandene Electricitätsmenge ohne Schaden durchlassen zu können, z. B. sehr dünne Metalldrahte

zum Glühen erhitzt, verbrannt. Flüssigkeiten, welche die leiten, z. B. Wasser, Salzlösungen, Säuren, erleiden theilchemische Zersetzung. In kleinen Mengen in Glasbehältern, in die man die Electricitäten durch Metallröhren führt, können sie so stark und so plötzlich ausgedehnt werden, dass sie die Gefässe zersprengen. Die atmosphärische Luft erwärmt und ausgedehnt; entzündliche Gemenge von Gasen und Dämpfen entzünden sich.

Die bequemste Geräthschaft, um die Wirkung der electricischen Entladung zu prüfen, ist der Henley'sche allgemeine Ausladapparat. Zwei Metallstäbe sind auf isolirenden Stützen nach jeder Richtung

Fig. 116.



Man kann sie mit ihren nach Erforderniss kugelförmigen oder zugehenden Enden in beliebige Nähe zusammengedrückt werden. Zwischen dieselben können beliebige Körper gebracht werden. Der eine Stab wird dann mit der äusseren Belegung der Flasche in leitende Verbindung gesetzt, der andere dem Knopfe der Flasche genähert. Um Ueberschlagen des Funkens genähert. Um z. B. Eisendraht zu prüfen, verbindet man denselben um beide kugelförmige Enden der Stäbe. Man kann auch einen Draht von erforderlicher Dünne durch Eintauchen von Klarsäure verdünnte Salpetersäure. — Soll eine Glasscheibe durchbohrt werden, so bohrt man die Stäbe des Ausladers in scharfe Spitzen aus, zwischen die die Scheibe gesetzt wird. Leidner Flaschen, deren Glaswände an Stellen ungleicher Dicke haben, werden zuweilen durch Selbstentladung durchbohrt. Das Loch, welches der electricische Schlag in einer Glasscheibe bewirkt, zeigt sich stets, wie wenn es aus der Mitte der Aussenfläche aufgerissen sei; insbesondere bemerkt man auf der durchbohrten Glasscheibe einen ausgebohrten Rand. — Streut man etwas Colophonium oder Schiesspulver zwischen beide Entladungspunkte des allgemeinen Ausladers, so wird es durch den Ueberschlag einer stark geladenen Flasche entzündet. Aether lässt sich durch einen aus dem Conductor gezogenen Funken in Flamme bringen. Man gießt zu dem Ende etwas Aether auf Wasser in ein ausserhalb des Wassers, in welches ein von dem Conductor der Maschine ausgehender Draht abgesenkt ist. Nähert man hierauf einen Knöchel, so entzündet der Funke austretende Funken zuerst den Aetherdampf und dadurch die Aetherflamme selbst. Wasserstoffgas, gemengt mit Luft oder Sauerstoff, wird durch die stärksten durchfahrenden electricischen Funken entzündet. Hierauf kann man eine electricische Pistole; so wie das Eudiometer von

Man kann Luft, zumal bei vermindertem Luftdrucke, bewirkt der electricische Schlag eine theilweise Erzeugung von Salpetersäure. In dem Glas-

Fig. 117. rohr *a*, dessen unteres offenes Ende über Quecksilber ist, befindet sich etwas durch Lackmus gefärbtes Wasser, das durch Lösung von Aetzkalk. Das obere Ende ist luftdicht von einem Metalldraht durchsetzt, der mit einem vergoldeten Ende endet. Lässt man durch diesen Letzteren während mehrerer Minuten einen Strom von Funken in die Flüssigkeit übertreten, so ändert sich das Luftvolum und die blaue Flüssigkeit wird roth wie durch die Kalllauge, wie Cavendish zuerst gezeigt hat, enthält Salpetersäure. Diese Bildung von Salpetersäure geht um so schneller vor sich je mehr man durch Hervorheben des Rohrs aus dem Behälter die eingeschlossene Luft verdünnt hat.



Der Widerstand, den die Luft dem überspringenden Funken entgegensetzt, vermindert sich bei abnehmender Dichtigkeit der Luft. Man stellt sich dergestalt, dass in einem Raume, worin man die Luft durch eine Schlangweite, nämlich die Entfernung, bis zu welcher der Funke übergeht, zunimmt.

Wenn man aus einem Glaszylinder von beliebiger Größe an beiden Enden durch Metallplatten hermetisch geschlossen so weit auszieht, als es mittelst einer guten Luftpumpe möglich ist, so strömt die Electricität vom einen Ende zum andern fort, und man ist in der Lage, den Zustand zu finden und unter Entwicklung eines matten Lichtes, das den ganzen inneren Raum zu erfüllen scheint. Man lässt den leeren Raum leite die Electricität. Durch die von Luft ganz freie Bewegung bewegt sich die Electricität mit derselben Leichtigkeit, aber unter Entwicklung eines grünlichen Lichtes, das man dem Erglühen von Quecksilber zuschreibt.

Condensator.

320. Wenn man zwei dünne, ebne Glasplatten, je einer Seite, mit Stanniol überzieht und dann die beiden ungleichen Flächen auf einander legt, so erhält man einen der Franklin'schen Tafel ganz ähnlichen Apparat, der, wie jene, mit beiden Enden geladen und durch gleichzeitige Berührung beider Enden wieder entladen werden kann. Trennt man nach der Ladung beide Glasscheiben isolirt und ohne vorher schon Ueberzüge in leitende Verbindung zu bringen, die auf ihnen verdichteten Electricitäten frei und können jede für sich geprüft werden.

Diese Geräthschaft wird Condensator (Electricitätsbehälter) genannt. Die verdichtende Kraft des Condensators ist bedeutender, je geringer die Dicke der zwischen beiden flächen befindliche Glastafeln (311). Da das Glas ein Isolierungsmittel dient, so kann es auch durch andere z. B. dünne Harzscheiben ersetzt werden. Das einfachste ist eine recht dünne und ebne Harzscheibe zu erhalten, bei der eine eben geschliffene Metallplatte, heiss, mit Schellack überziehen. Die wirksamsten Condensatoren bestehen aus zwei solchen Metallscheiben, die mit ihren gefirnisset auf einander gelegt werden.

Man pflegt die eine Platte in wagerechter Lage

it zwei Pendeln zu befestigen, und setzt die andere mit einer isolirenden Handhabe versehen sein. Leitet man nun z. B. + E. auf die untere Platte (latte), während man die obere (die Deckel- n Finger berührt, so wird der Condensator geladen, e bemerkbare Einwirkung auf das Electrometer. erauf die obere Platte, so wirkt die ganze angesam- mehr frei gewordene + E. auf die Goldblättchen.

sator wird hauptsächlich gebraucht, um Electricität, reichlicher Menge vorhanden, wegen zu geringer dem Electroscop nicht angezeigt wird, zu ver- lurch ihre Einwirkung auf das Electrometer zu ver- rad der Condensation, der auf diesem Wege erreicht st für ein gegebenes Instrument nicht willkürlich, er Dichtigkeit, welche das zu verdichtende Fluidum) besitzt, proportional (318). Die auf der Collector- ste Electricität beträgt z. B. bei einem gegebenen s 50fache, bei einem andern das 100fache derjeni- nenge, welche ohne Mitwirkung der zweiten Platte te verbreiten können.

cheinen, dass es überflüssig sei, beide Platten mit ; zu bekleiden, und dass durch Entfernung des einen ige, wegen der dadurch verringerten Dicke der Schicht, die verdichtende Kraft des Condensators stärkt werden müsse; diess ist jedoch nicht der r auf der einen Seite mit Stanniol bedeckte Spiegel- lie Metallfläche nach unten, auf den Tisch gelegt; eie Seite des Glases setze man ein mit isolirendem ehene, reine und eben abgeschliffene Messingscheibe. diese Weise eine dem Condensator ähnliche Vor- ie, wenn man die Deckelplatte mit dem Conductor erbindet, geladen werden kann, und dann durch der metallischen Belegungen, einen der Stärke der ehenden electrischen Schlag bewirkt. Wird die vor erfolgter Entladung abgehoben, so wird sich eelectricität darin vorfinden, als sie unmittelbar durch Conductors aufnehmen konnte. Auf die Glastafel t und mit der unteren Belegung verbunden, erhält l einen starken electrischen Schlag. Die ganze vom Maschine abstammende Electricitätsmenge war also n, sie hatte aber, in Folge der anziehenden und bin- ihres Gegensatzes in der unteren Belegung, die grösstentheils verlassen und sich im Glase selbst urch das Abheben der Deckelplatte konnte daher rhandene freie Electricität mit entfernt werden. Die welche sich auf beiden Glasflächen festgesetzt haben,

können bei der Entladung nur theilweise zu einander ein beträchtlicher Theil wird vermöge des zusammenfassenden Einflusses, der nicht leitenden Beschaffenheit des G wechselfeitigen Bindung beider entgegengesetzten I dann zurückgehalten, wenn beide Metallbelegungen i leitender Verbindung bleiben. Dieser zurückbleibende so beträchtlicher, je weniger innig die Berührung der mit der Oberfläche des schlechten Leiters. Gewöhnlic Princip im Uebergewichte vorhanden, und dadurch d des andern verdeckt. Auf die in Paragraph 315 beschr können jedoch beide leicht nachgewiesen werden.

Auch bei der Leidner Flasche bewirkt das Bestreben beid Flüssigkeiten, einander so nahe wie möglich zu kommen, das sowohl in den Metallbelegungen als vielmehr auf den Glasflächen sammeln. Die metallische Hülle, mit der Glasfläche in inniger E dann gleichsam nur, um im Augenblicke der Verbindung beid den gleichzeitigen Abfluss der Electricität, von allen Punkten, w gesetzt hatte, zu vermitteln. Der Rücktritt beider Flüssigkeiten geht gleichwohl nicht ohne Widerstand vor sich und so erklä die vollständige Entladung der Leidner Flasche immer eine ge Zeit erfordert, während der beide Belegungen in Berührung l Daher findet man fast immer, dass die auf gewöhnliche Art ent noch eine zweite schwächere Ladung und zuweilen selbst noch vierte enthält.

Electrophor.

321. Der Electrophor oder Electricitätsträger i Principe nach mit dem Condensator und der Fränklin verwandte Geräthschaft. Er besteht aus drei wesentlic einer möglichst dünnen und ebenen Harzscheibe von Durchmesser, dem Kuchen, einer metallischen Ur Form oder der Teller genannt, und einer metallisch platte mit isolirendem Handgriffe.

Harz in trockner Luft behauptet den electricischen Z Zeit mit fast unveränderter Stärke. Wird eine unele isolirte Metallplatte auf eine electricische Harzscheibe gleich wieder abgehoben, so bleibt sie unelectricisch. Di des Harzes wirkt gleichwohl vertheilend auf die im M türlichen Zustande vorhandenen Electricitäten. Berührt die Deckelplatte mit dem Finger, so geht das gleichar fort, das ungleichartige wird gebunden und kann dan nehmen des Deckels ebenfalls in den freien Zustand v den. Dieser Versuch lässt sich beliebig oft mit stets f folge wiederholen. Der Kuchen des Electrophors biet rend einiger Zeit (so lange ihm seine electricische Be nicht durch äussere Einflüsse entzogen worden) einen l quell von unveränderter Stärke, welcher in jedem .

ung steht. Dieser Quell würde aber ohne die Mitwirkung s wenig ergiebig sein.

der Harz-Kuchen mit einem trockenen Fuchsschwanze enpelze gerieben wird, beginnt die auf seiner Oberfläche te — E. das electriche Gleichgewicht der Metall-Unterören; — E. fliessen in den Boden ab, + E. wird gebunden, ihrerseits einen Theil der an der Oberfläche des Harzes en erregten — E. Die letztere verliert dadurch von ihrer eit nach Aussen und hängt fester an dem Harze. Durch tes Reiben können daher neue Electricitätsmengen erzeugt m Kuchen, weit über diejenige Gränze hinaus, welche) Mitwirkung des Tellers zu erreichen vermag, ange- den.

und nach, sogar schon während des Reibens, wird die iche des Kuchens selbst positiv electriche und in dem s, als es geschieht, verschwindet der positiv electriche er Form.

elle ein kleines Electrophor auf die Metallplatte eines ps. Unmittelbar wird keine Einwirkung auf das letztere : sein. Der Deckel, in unelectrischem Zustande auf den n gesetzt und isolirt wieder entfernt, bleibt unelectrisch. man aber den Deckel, während er auf dem Kuchen n dem zweiten Electroscope, so divergiren die Pendel des mit — E. Wird diese — E. in den Boden abgeführt, so freie + E. in dem Teller, während eine verhältnissmäs- ge des gleichartigen Fluidums in der Deckelplatte gebun- Diess ist nun die Gränze der Ladung, welche der oberen e Beihülfe einer gut leitenden Unterlage ertheilt wer-

eite man die in dem Teller frei gewordene + E. in den die Pendel des zweiten Electrosops werden von Neuem lvergiren, und durch Ableitung derselben verstärkt sich re Ladung des Deckels, während die Form wieder mit behaftet erscheint. Dieser Versuch lässt sich mehrmals mit dem Erfolge wiederholen, so lange bis die Menge der in el gebundenen + E. der bindenden Kraft, der ganzen arzfläche durch Reiben erzeugten — E. entspricht und g die in der unteren Fläche des Kuchens fixirte + E. lung einer verhältnissmässigen Menge von — E. der häftigung gefunden hat. Nach vollendeter Ladung er- her der Deckel des Electrophors mit + E., der Teller Kuchen isolirt entfernt) mit — E., wiewohl in schwä- de, geladen.

arkuchen nimmt man gewöhnlich 8 Theile Colophonium, 1 Theil d 1 Theil venetianischen Terpentin, welche durch Schmelzen ver- ch flüssig in den Teller, der zu diesem Zweck mit einem 2 — 3 stehenden Rande versehen ist, eingegossen werden. Kuchen, die

auf dem Teller frei aufliegen sollen, können aus Schellack, mit 101 pentin vermischt, angefertigt werden. Sie sind isolirender. Dem 1 man einen geringeren Durchmesser zu geben, als dem Kuchen, w dem Abheben der Funke leicht auf die Form überspringt.

Der Condensator und der Electrophor sind Erfindungen Volta's.

Gesetze der electrischen Anziehungen und Abst

322. Die geringe Beständigkeit electricischer Zustände, besonders die Schnelligkeit, womit freie Electricität auf Leitern auch bei der zweckmässigsten Isolirung entweder eine scharfe Messung der Grösse electricischer Einwirkung einer höchst schwierigen, bis jetzt nur unvollkommenen Aufgabe. Was hierüber bekannt ist, reicht gleichwohl über die Gesetze, nach welchen die Wirksamkeit der Electricität sich richtet, keinen Zweifel zu lassen. So haben wir gefunden:

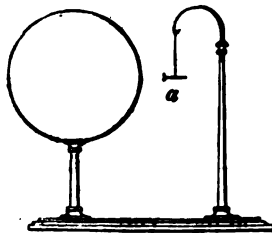
1. Die Stärke der Abstossung gleichartiger, so wie die Anziehung ungleichartiger electricischer Kräfte, steht in demselben Verhältnisse des Quadrates der Entfernung ihrer Punkte.

2. Die Wirkungen eines electricischen Körpers sind den Electricitätsmengen proportional, womit er behaftet ist.

3. Die Stärke der wechselseitigen Anziehungen oder Abstossungen zweier mit Electricität behafteten Körper, stellt sich bei veränderten Abständen im zusammengesetzten Verhältnisse auf beiden Körpern vorhandenen Electricitätsmengen.

Die von den electricischen Körpern ausgehenden Kräfte verhalten sich also hinsichtlich der Intensität ihrer Wirksamkeit nach ähnlichen Gesetzen wie die magnetischen Kräfte.

Fig. 118.



323. Das einfachste und doch eines der genauesten electricischen Messwerkzeuge ist die electrische Waage. Sie besteht aus einem sehr dünnen, zolllangen Stäbchen von Schellack (Fig. 118), das an einem einzigen Punkte wagrecht aufgehängt ist und an einem Ende ein sehr leichtes, kreisförmiges Blattchen oder eine kleine Scheibchen Goldpapier trägt. Wenn man

die Scheibchen Electricität mittheilt, so wird es von andern gleichnamigen Körpern, je nachdem sie mit dem gleichnamigen oder gleichnamigen Fluidum behaftet sind, abgestossen oder angezogen. Die Nadel, aus ihrer Ruhelage gebracht, beginnt zu schwingen. Aus der Zeit, welche zur Vollendung einer bestimmten Anzahl Schwingungen nöthig ist, lässt sich dann die Stärke der Einwirkung (auf ähnliche Weise, wie früher

agnetischer Kräfte aus den Schwingungen der Magneten. — Wegen der Kleinheit und Dünne des Scheibman seinen Mittelpunkt als gemeinschaftlichen Anker in ihm thätigen electricischen Kräfte annehmen.

dieser Vorrichtung hat zuerst Coulomb die obigen Gesetze geprüft. Er stellte eine isolirte Kugel von Metallblech, oder auch Metallpapier überzogen, so der Nadel gegenüber, dass wenn in der Scheibe war, die gerade Linie, welche ihren Aufhängepunkt mit dem Mittelpunkte der Scheibe verband, zugleich durch den Mittelpunkt der Kugel hindurch lief. Er hielt 12 Zoll im Durchmesser; ihr Fuss war auf einem, in gerader Linie verrückbar, wodurch es möglich war, den Abstand von der Nadel beliebig zu verändern.

Die Electricität von der einen Art, der kleinen Scheibe von der andern, wurde mitgetheilt. Die Menge, welche die letztere erhielt, musste aber nicht so viel betragen, als durch Vertheilung möglicher Weise in ihr enthalten werden konnte. Um diesen Zweck sicher zu erreichen, rückte die Kugel etwas näher zu dem Pendel hin, als sie später während der Schwingungen stehen soll, und berührt das Scheibchen einen Augenblick mit einem Leiter. Die Kugel wurde dann in thunlichst kurzer Zeit in den Abstand zu der Nadel gebracht, und in jeder dieser Stellungen die nöthige Anzahl Schwingungen erforderliche Zeit gemessen.

In dieser Versuchsreihe z. B. fand Coulomb, dass wenn die Entfernung des Mittelpunktes der Kugel vom Mittelpunkte der Scheibe von anfänglich 9 Zoll auf 24 Zoll vergrößert wurde, die zu je 15 Schwingungen erforderliche Zeit von 20 Secunden, 41 und 60 Secunden betrug. Die Quadrate der Zahlen 400, 1681 und 3600, verhalten sich fast wie 1 : 4 : 9; die Anziehung, welche den Quadratzahlen der Schwingungszahl proportional sind (148), waren daher (die beim ersten Vertheilung gleich gesetzt), $1 : \frac{1}{4} : \frac{1}{9}$. Diesen Kräften müssen nun, wenn die electricischen Wirkungen bei zunehmender Entfernung in quadratischer Abnahme abnehmen, Abstände zugehören, die sich wie 1 : 2 : 3 verhalten.

Die natürliche Folge der regelmässigen Gestalt eines kugelförmigen Körpers ist, dass die demselben ertheilte Electricität sich ringsum auf ganz gleichmäÙig ausbreiten muss, d. h. an verschiedenen Stellen der Kugel, die vom Mittelpunkte liegen, herrschen ganz gleiche electricische Kräfte. Der Mittelpunkt muss daher der gemeinschaftliche Angriffspunkt der ziehenden Kräfte seyn; wenn nämlich ihre Wirksamkeit bei zunehmender Entfernung nach demselben Gesetze abnimmt wie die Schwere.

Der Abstand des Mittelpunktes der Scheibe von dem der Kugel bei dem ersten Versuche 9 Zoll; beim zweiten sollte er darnach $2 \cdot 9 = 18$, beim dritten 27 Zoll seyn. Nur bei dem dritten Versuche zeigte sich eine Abweichung. Die Nadel durfte um 15 Schwingungen in 60 Secunden stehen; beim zweiten sollte sie um 24 Zoll entfernt stehen. Allein dieser dritte Versuch ist angestellt; bis dahin war bereits ein Theil der Electricität in der That würde z. B. eine Wiederholung des ersten Versuches die Zahl der Schwingungen des dritten, nicht mehr dasselbe Resultat liefern, als anfänglich. Ein Abstand würden 15 Schwingungen mehr als 20 Secunden Zeit

erfordern. Die Anzahl der Schwingungen hängt also nicht blos von der GröÙe der Ladung ab, sondern auch von der Stärke der Ladung beider einander gegenüber stehenden electricischen Körper. Um zu erfahren, wie viel jeder dazu bedarf, um die electricische Kugel, ohne ihren Abstand vom Pendel zu ändern, in 15 Schwingungen zu bringen, wurde eine Kugel von derselben GröÙe, aber nicht electricischen, von durchaus gleicher GröÙe, und ebenfalls isolirt. Es ist klar, dass beide sich in die vorerwähnte Ladungsmenge theilen werden. Hatte nun die Nadel die Zahl von

15 Schwingungen vorher in 20 Secunden vollendet, so wird sie jetzt die Kugel die Hälfte ihres Vorraths an freier Electricität verloren hat cunde dazu bedürfen. Die Intensitäten der Einwirkung in beiden F halten sich also umgekehrt wie $(20)^2 : (28,5)^2 = 400 : 812$; d. h. wi

Entzieht man der kleinen Scheibe die Hälfte ihrer Electricität, i sie einen Augenblick mit einer andern von gleicher Grösse und gleich die ebenfalls in der Mitte an einem Schellackstäbchen befestigt ist, rung bringt; so findet man, unter Voraussetzung, dass die Kugel von fänglichen Vorrathe nichts eingebüsst hatte, dass sich die Stärke d kung wie vorher um die Hälfte vermindert hat.

Zu der Gesamtstärke der wechselseitigen Anziehung zweier ung electrischen Körper betheiligen sich alsó beide in ganz gleicher W nämlich in geradem Verhältnisse zur Electricitätsmenge, womit er b Bezeichnet man mit s und s' die absoluten Mengen von Electricität z per, mit d die Entfernung der Mittelpunkte ihrer Wirksamkeit, so ist dieser Wirksamkeit dem Ausdrücke $\frac{s s'}{d^2}$ proportional zu setzen.

Aus den Schwingungen der kleinen Nadel lässt sich auf ähnliche Folgerung ziehen, dass die Abstossung gleichnamiger Electricitäten drucke $\frac{s s'}{d^2}$ proportional ist. Zu dem Ende muss das Scheibchen in

lage von der Kugel abgewendet seyn; man erthelt letzterer Elect gewisser Art und gibt dann dem Scheibchen, indem man es einen l mit der Kugel in leitende Verbindung setzt, dieselbe electricische Bes

Zur Aufündung oder vielmehr zur experimentellen Begründung d der electricischen Einwirkungen hat Coulomb mit gleichem Erfolge: Drehwage benutzt (Biot traité de phys. II. 224). Seine Versuche si vielfach wiederholt und bestätigt worden.

324. Electrometer. Der Name Electrometer kann s gleichem Rechte jeder zu electricischen Messungen ge Vorrichtung gegeben werden; gewöhnlich versteht m darunter eine dem Electroscop mit zwei Pendeln ähnliche schaft, die sich von jenem eigentlich nur dadurch unter dass ein Gradbogen daran angebracht ist, um die Gr Ausschläge zu messen.

Um die Anzeigen des Electrometers vergleichbar zu gibt es kein anderes brauchbares Mittel, als vergleiche suche. Diese können z. B. auf folgende Art angestellt Eine grosse, etwa 12 Zoll im Durchmesser haltende, isoli wird mässig stark electricisirt. Bringt man damit ein Metall von nur 5 Linien Durchmesser, welches mittelst eines la dünnen Schellackstäbchens isolirt ist, in Berührung, so w selben von dem gleichnamigen Fluidum mitgetheilt. Di such kann oft wiederholt werden, ohne dass die Kugel me durch verliert. Das isolirte Blättchen, nachdem ihm die v getheilte Electricität entzogen worden, empfängt also bei Berührung mit der Kugel, eine gleiche Menge immer wie

Wenn man die kleine isolirte Scheibe in die Mitte de meterplatte setzt, so verliert sie ihren Gehalt an electric sigkeit fast bis auf die letzte Spur; ein Versuch der mit Erfolge sehr oft wiederholt werden kann. Hierdurch ist

den, proportionale Mengen von Electricität auf das r zu übertragen. Indem man den jedesmal erfolgenden bemerkt, lässt sich dann wieder rückwärts auf den eier Electricität schliessen, der durch irgend äussere dem leitenden Systeme des Instrumentes angehäuft hat auf diesem Wege gefunden, dass Ausschläge der r-Pendel von nur wenigen Graden den mitgetheilten mengen proportional sind. Erfolgt z. B. ein Ausschlag muss in dem leitenden Systeme 8mal so viel Electriciten seyn, als wenn die Divergenz nur 1° betragen rärkeren electricischen Anhäufungen bleibt die Zunahme lags hinter derjenigen der mitgetheilten Electricitätsck.

nach den vorhergehenden Erörterungen einleuchtend, it des Electrometers unmittelbar nicht die electricische gemessen wird, sondern die Menge Electricität, welche l welche Ursache in den Pendeln frei geworden ist.

ine isolirte electricische Kugel in der Nähe des Electrometers auf- vertheilend auf die im natürlichen Zustande befindlichen Elec- elben. Das ungleichnamige Fluidum wird angezogen und gebun- ältmässige Menge des gleichnamigen wird frei und treibt die ander. Der Ausschlag betrage z. B. 6° . Man berühre die Kugel rn von gleicher Grösse und Beschaffenheit und entziehe ihr da- te ihrer Electricität. Der Ausschlag wird sich bis auf 3° vermin- reise, dass jetzt in den Goldblättchen nur noch halb so viel freie rhanden ist, als vorher.

setz zu erkennen, nach welchem die vertheilende Kraft der freien l zunehmender Entfernung sich vermindert, stelle man in einigem der grossen isolirten Kugel eine kleinere von höchstens 1 Zoll so auf, dass ihre Mittelpuncte in gleicher Höhe liegen. Man theile Electricität von der einen oder andern Art mit und berühre dann nen Augenblick mit dem Finger. Ungleichnamige wird gebunden, e kann durch Uebertragung auf das Electrometer gemessen wer- lt man hierauf den Abstand der Mittelpuncte beider Kugeln, ohne n Zustand der grössern zu ändern, so vermindert sich die Elec- ie in der kleinern gebunden werden kann, auf $\frac{1}{4}$ der früheren er Ausschlag des Electrometers, unter ähnlichen Umständen wie $\frac{1}{4}$ so gross.

te III. zeigt die vordere Ansicht eines Goldblatt-Electrometers in Grösse. Das viereckige Glasgehäuse ist aus Spiegelplatten ge- an den Kanten verkittet und oben und unten durch Messingkap- gehalten sind. Der Gradebogen ist auf einem Papierstreifen auf- auf der vorderen Glasplatte mit Mundleim befestigt. Er bildet ein reises, dem der Aufhängepunct der Pendel, oder richtiger die ses Punctes auf die Glasfläche, als Mittelpunkt zugehört. Ein lleses Punct lothrecht abwärts auf das Glas gezogener Diamant- hneidet den Nullpunct der Scala. Er dient, um während der Be- n Auge die richtige Stellung zu geben. Um mit diesem Instru- hbare Beobachtungen erhalten zu können, darf der Gradebogen den Pendeln stehen, das Auge muss man aber so weit entfernt rgend die deutliche Sehweite erlaubt. Immer bleibt das Electro- f der Schärfe seiner Anzeigen hinter der electricischen Nadel und weit zurück. Dagegen besitzt es den Vorzug, dass die damit an- rimentalphysik.

gestellten Messungen eine grössere Anschaulichkeit gewähren; daher mehr zu Vorlesungs-Versuchen. In der Bodenplatte des befindet sich ein Loch, das zu dem Innern einer Schieblade füh einige Stücke Chlorcalcium befinden. Dadurch wird die die Goldgebende Luft trocken erhalten. Es ist diess sehr wesentlich, weil trische Fluidum an dem Rande dieser langen und schmalen Golds am stärksten verdichtet und von hier aus am leichtesten entweich

Vertheilung freier Electricität im Ruhezust

325. So oft einem isolirten Leiter Electricität, wenn telbar nur von einer einzigen Stelle entzogen oder mitg vermindert oder vermehrt sich gleichwohl an jeder Oberfläche die Dichte der darauf verbreiteten electricisheit, und zwar überall auf proportionale Weise. Ist z. B die Hälfte des vorhandenen Fluidums fortgegangen, die Dichte desselben an jeder Stelle um die Hälfte ver

Ein beliebig gestalteter isolirter Leiter werde mit Electricität die Wirkung derselben auf die Nadel oder auf das Electrome festen Abstände gemessen. Mit diesem Leiter bringe man hierauf noch unelectrischen von ganz gleicher Gestalt und Beschaffen analogen Stellen, in Berührung. Es ist einleuchtend, dass unterständen der Vorrath an freier Electricität sich gleichmässig auf vertheilen muss. Man entferne den zweiten und messe bei unverdes ersten seine electricische Wirksamkeit. Sie zeigt sich nur halb vorher. Da nun die Wirkungen der Electricität nicht bloss von Menge, sondern auch von dem Abstände des gemeinschaftlichen A sämtlicher thätigen Kräfte abhängen, so folgt, dass die Lage sich nicht geändert hat, indem dem Körper ein Theil seines electums entzogen wurde; oder mit andern Worten, es folgt hier Dichtigkeit der Electricität an jeder Stelle des Leiters auf propor vermindert worden ist.

Jedes electricische Theilchen, womit ein Körper behaftet ist, wir auf die gleichnamige electricische Flüssigkeit in seiner Umgebung ungleichnamige anzuziehen und sich damit zu verbinden streb einer Stärke, welche dem Quadrate des Abstandes verkehrt pr Auf einen beliebig gewählten Punct eines electricisirten Leiters eine electricisch vertheilende Kraft, deren Stärke gleich ist den R Einwirkungen aller auf diesem Körper verbreiteten electricische Bedingung des Gleichgewichts erfordert demnach, dass in jeden selben gerade so viel von dem gleichnamigen Fluidum angel durch die von allen andern Puncten her einwirkenden vertheilend ausgeschieden werden können. Ist an irgend einer Stelle bereits den, so verbreitet sich dieser Ueberschuss über andere Theile d weniger da, so findet Zufluss Statt, dergestalt, dass nach eingetr zustande sich freie Electricität nur von einer Art vorfinden kann. Jedem Puncte des Leiters in solcher Menge, als der Resultante kungen aller übrigen vorhanden' electricischen Theile auf dies spricht. Jede Zunahme oder Abnahme der electricischen Dichtigke gleichmässig an allen Puncten der Leiter eintreten.

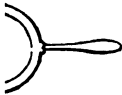
326. Die Electricität verbreitet sich auf Leitern v Gestalt und Grösse, von welcher sonstigen Bescha seyn mögen, auf ganz gleiche Weise. Berührt man z

ehaftete Kugel von Metallblech mit einer andern nicht von gleichem Durchmesser, so verliert sie gerade die Electricität, mag nun die zweite Kugel ebenfalls hohl die Materie ihrer Oberfläche dieselbe oder eine andere ihr innerer Raum Metall, oder Holz, oder Wasser, oder einen Leiter enthalten. Dasselbe Verhalten findet statt des kugelförmigen ein beliebig geformter electer mit einem andern unelectrischen von gleicher Gean analogen Stellen, in Berührung gebracht werden, beide von gleichem oder verschiedenem Stoffe, hohl seyn, nur müssen beide die Electricität leiten. Man schliessen: 1) dass die wägbare Materie der Körper tricität, welche sie enthalten, nicht die geringste anhaft oder irgend sonst eine Wirksamkeit äussert; 2) Leitern mitgetheilte freie electriche Flüssigkeit sich Oberfläche verbreitet.

re andere Erscheinungen beweisen, dass die freie Electricität im er nicht verweilen kann.

ngugel von 3—4 Zoll Durchmesser, isolirt und mit Electricität ss sie eine deutliche Wirkung auf das Electroskop hervorbringt, it zwei hohlen Halbkugeln von etwas grösserem Durchmesser

19.



(Fig. 119), die an isolirten Stielen gefasst werden und, zusammengestossen, die Kugel ganz umschliessen, setze die innere mit der äusseren Kugel einen Augenblick in Berührung und entferne dann die Halbkugeln bei sorgfältiger Vermeidung jeder weiteren Verbindung mit dem eingeschlossenen Leiter. Letzterer verliert dadurch den electriche Zustand so vollständig, wie wenn er mit dem allgemeinen Ableiter in Verbindung gestanden hätte; das ihm entzogene Fluidum findet sich jedoch auf der leitenden Hülle, womit man ihn umgeben hatte.

Pendel, welche in der innern Höhlung eines isolirten Leiters eingeschlossen sind, aber mit der Verbindung stehen, geben, selbst durch die stärkste Ladung, die er ertheilen kann, keinen Ausschlag. Werden sie aber, bereits Zustande, durch eine passende Oeffnung eingesenkt, so fallen entblicke zusammen, da die leitende Verbindung mit der Oberllt ist.

icität im Innern eines Leiters erfährt eine Abstossung von allen setz nun, diese Einwirkungen halten einander in Beziehung auf nct a im Innern nicht das Gleichgewicht (oder ihre Resultirende so kann auch die in a etwa befindliche freie electriche Flüssigthe bleiben. Ist der Punct von jeder Richtung her einer gleichschen Einwirkung unterworfen, so kann die in demselben voricität wegen der wechselseitigen Abstossung ihrer Theile gleichRuhe kommen, ihre Fortbewegung müsste denn durch Leitungsrrhindert werden. Besteht ein leitender Zusammenhang mit der muss sich alle auf die inneren Theile übertragene Electricität Jeder Punct im Innern befindet sich daher nach eingetretenem im natürlichen electriche Zustande, so gross immerhin die an angehäuften Menge electriche Flüssigkeit seyn mag.

327. Die freie Electricität würde sich selbst an der Oberfläche des Leiters nicht ansammeln können, wenn sie nicht durch den Widerstand der Luft verhindert würde, sich weiter zu bewegen. Je verdichtender Luftdichtigkeit vermindert sich die Summe wider der Theilchen; in verdünnter Luft haftet daher die Electricität weniger leicht und im leeren Raume gar nicht an der Oberfläche des Leiters. Eine unter der Luftpumpe isolirte Kugel von Zinnblech verliert die ihr mitgetheilte Electricität, sowie die umgebende Luft entfernt wird (119).

328. Ein electricisches Theilchen an der Oberfläche eines Körpers wird von allen gleichartigen Theilchen, die über die Oberfläche desselben Körpers verbreitet sind, abgestossen, und die Kraft mit einer Stärke, die im umgekehrten Verhältnisse zum Quadrat der Entfernung steht. Diese verschiedenen Einwirkungen können nicht alle in gleicher Richtung stattfinden können, theilweise auf, zum Theile aber auch ergänzen sie sich zu einer gemeinschaftlichen Wirkung, normal (winkelrecht) gegen diejenige Stelle der Oberfläche, an welcher das in Betracht gezogene Theilchen haftet. Gelangen an dieselbe Stelle mehrere Theilchen, d. h. erhält die electricische Flüssigkeit eine grössere Dichte, so ist die resultirende Abstossung der Dichtigkeit der vorhandenen Theilchen, oder der Dichtigkeit an dem bestimmten Punkte proportional. Aber gleichzeitig mit der zunehmenden Dichte an einem Punkte der Oberfläche vergrössert sich auf proportionale Weise die Abstossung gegen jedes einzelne Theilchen an diesem Punkte, denn die Dichtigkeit der Electricität kann nicht an einer Stelle eines Leiters vermehren, ohne sich gleichzeitig und auf proportionale Weise an allen andern Stellen desselben vermehren (325). Der Druck der ruhenden Electricität gegen sich selbst und ihre nicht leitende Umgebung oder diejenige bewegende Kraft, welche die electricische Spannung oder Tension (301) genannt wird, ist an jeder Stelle eines electricisirten Leiters dem Quadrate der electricischen Dichtigkeit an dieser Stelle proportional.

Bei der atmosphärischen Luft verhält sich die Spannung (das Vermögen der Theile) wie die Dichtigkeit. Bei den electricischen Fluidis ändert sich, wie man nunmehr sieht, die Spannung in einem weit andern Verhältnisse als die Dichtigkeit; der doppelten Dichtigkeit z. B. entspricht vierfache, der dreifachen Dichtigkeit eine neunfache Spannung u. s. w.

Die Divergenzen der Electrometerpendel entsprechen, wenigstens annähernd, den Dichtigkeiten der mitgetheilten Electricität und dürfte nicht der electricischen Spannung proportional gesetzt werden.

Wenn zwei isolirte kugelförmige Leiter mit Electricität von gleicher Dichtigkeit beladen sind, so verhalten sich die Mengen dieses Fluidums in diesen Körpern wie ihre Oberflächen, also wie die Quadrate der Halbmessers. Die Abstossung, welche ein electricisches Theilchen an der Oberfläche eines Körpers durch alle übrigen zu erleiden hat, verhält sich wie die ganze vorhandene Electricitätsmenge und verkehrt wie das Quadrat des Halbmessers (welches die Dichtigkeit der um die Kugeloberfläche vertheilten Electricität gerade so

die sich die ganze Menge derselben im Mittelpuncte vereinigt). Die electriche Spannung auf kugelförmigen Leitern von ungleicher Grösse, aber bei gleicher Dichtigkeit des auf ihren Oberflächen vertheilten Fluidums ist folglich die gleiche, so wie es vorher schon im Allgemeinen bewiesen worden war.

329. Zwei isolirte Leiter in Berührung bilden ein einziges leitendes System. Aus jeder Veränderung der electricischen Dichtigkeit auf der Oberfläche des einen, ist man daher berechtigt, auf eine proportionale Veränderung auf der Oberfläche des andern einen Schluss zu ziehen. Z. B. auf das Electrometer werden durch die unmittelbare Berührung mit einem electricischen Körper Electricitätsmengen übertragen, welche den auf dem Körper selbst enthaltenen Mengen proportional sind.

Ist der eine von beiden isolirten Körpern ein kreisförmiges Scheibchen vom dünnsten Metallblech und von nur 5 — 7 Linien Durchmesser, und bedeckt man damit irgend eine Stelle der Oberfläche eines Leiters von verhältnissmässig sehr grossem Umfange, so befinden sich die auf dem letzteren vertheilten electricischen Ladungen, zu dem Scheibchen wesentlich in derselben Beziehung, wie zu der Stelle, welche es bedeckt; der electricische Zustand, wenn das erstere annimmt, muss daher von der Grösse derselben electricischen Kraft abhängig seyn, die aus der gemeinschaftlichen Electricität sämtlicher vorhandenen electricischen Kräfte gegen die Berührungsstelle hervorgeht. Das Scheibchen, von dem Körper, dem es berührt, wieder getrennt, wird also eine Electricitätsmenge aufgenommen haben, die der Dichtigkeit an der Berührungsstelle um so sicherer proportional gesetzt werden darf, je mehr man die Bedingung festgehalten hatte, dass die Fläche des Scheibchens nur einen verschwindend kleinen Theil vom Umfange des Körpers ausmacht.

Ein solches Scheibchen, mittelst eines langen und dünnen Fadens von reinem Schellack isolirt, kann daher als Hilfsmittel dienen, die Dichtigkeit der Electricität an verschiedenen Punkten der Oberfläche eines Leiters zu prüfen. Der Name Prüfungsleiste, den Coulomb dieser kleinen Vorrichtung gegeben hat, ist hierdurch gerechtfertigt.

330. Die Art, wie sich freie Electricität auf einem isolirten und von andern Einflüssen entfernt stehenden Leiter vertheilt, hängt von der Gestalt seiner Oberfläche ab. Eine gleichförmige Vertheilung findet nur auf der Kugeloberfläche Statt. Auf andern unregelmätigen Körpern häuft sich die Electricität, womit sie beladen ist, an verschiedenen Stellen ungleich dicht an. Sind z. B. zwei Kugeln in Berührung, so zeigt sich in der Nähe der Berührungsstelle auf beiden die geringste Dichtigkeit, die grösste aber an entgegengesetzten Punkten. Sind beide von ungleicher Grösse, und vergleicht man mittelst der Prüfungsleiste die Dichtigkeit an verschiedenen Stellen derselben, so findet man immer auf der kleineren eine grössere electricische Anhäufung. Je kleiner eine Kugel ver-

hältnissmässig zur Andern ist, je mehr wächst das Ver-
electrischen Dichtigkeit für ähnlich liegende Punkte, ρ
den Werth 2 erreichen zu können. Indem man aber n
geln an einander reiht, von denen die folgende immer l
als die vorhergehende, hat man es ganz in seiner Gew
der kleinsten angesammelte Electricitätsmenge zu je
gen Grade zu verdichten und dadurch ihre Spannu
dem Quadrate der Dichtigkeit proportional ist, sogar bis
des Widerstandes der Luft zu erhöhen. Auf dünnen kr
Platten nimmt die Dichtigkeit von der Mitte nach dem
sehr allmählig, in der Nähe des Randes aber plötzlich
zu, und erreicht am Rande selbst einen grössten W
dünnen Streifen und auf der Oberfläche prismatisch
Körper zeigt sich an den Kanten eine stärkere Anhäu
einiger Entfernung von denselben; die stärkste und ra
nahme bemerkt man aber in der Nähe der Enden.
plötzliche Zunahme der Dichtigkeit des electricischen Flu
sich auch an den abgerundeten Enden cylindrisch ges
ter, zumal wenn sie lang und dünn sind, während au
leren Theilen ihrer Oberfläche überall so ziemlich eine
keit herrscht. Ueberhaupt findet man, dass die Electri
den Theilen der Leiter, welche bei geringer Dicke au
vorstehen, an etwa vorhandenen Ecken und Kanten, ir
aber an hervorragenden Spitzen am dichtesten anhäu

Auf einer kreisrunden Messingplatte von 10 Zoll Durchmesser
lomb, die Dichtigkeit in der Mitte als Einheit genommen: 3 Zo
1,005; 2 Zoll vom Rande 1,17; 1 Zoll vom Rande 1,52; $\frac{1}{2}$ Zoll v
und am Rande selbst 2,9. — Als er seine Prüfungsscheibe nach
verschiedene Punkte eines langen, dünnen Metallstreifens setzte
den ihr mitgetheilten electricischen Zustand prüfte, hatte sie dicht
einmal so viel Electricität aufgenommen als in der Mitte; in der
gen Länge aber bis zu 1 Zoll Abstand vom Ende überall beiläufig
Menge. Die Prüfungsscheibe über das Ende des Streifens hinaus
nur noch ihr äusserster Rand damit in Berührung blieb, bildete
Verlängerung beider Flächen des Streifens, daher sie in dieser
so viel Electricität aufnahm, als in der Mitte.

Diese Vertheilungsverhältnisse zeigen sich ganz unabhängig
samtmenge vorhandenen electricischen Fluidums. Z. B. die Dicht
Mitte eines langen und schmalen Streifens verhält sich zu der
1 zu 2, mag nun dieser isolirte Leiter schwach oder stark gelad

Die relative Menge electricischer Theilchen, die sich währen
gewichtszustandes eines isolirten Leiters an irgend einem Pau
vorhanden muss, steht in geradem Verhältnisse zur Stärke der
schen Einwirkung (auf diesen Punkt), zu welcher sich die El
sämtlicher über die Oberfläche des Körpers ausgebreiteter Th
trischen Fluidums zusammensetzen. Diese Resultante, bezogen
Innern, muss Null werden. Auf jeden Punkt der Oberfläche eines
sie einen positiven Werth. Dieser Werth kann jedoch nur in Bez
Kugeloberfläche nach jeder Richtung hin gleich seyn. Man über
dass auf einer isolirten und mit Electricität beladenen Metallsche
Stellen, die in gleicher Entfernung vom Mittelpuncte liegen, einer

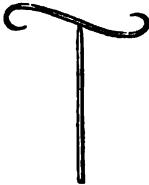
g ausgesetzt seyn können, so wie dass dieser Einfluss (nämlich aller vorhandenen Kräfte) vom Rande nach der Mitte hin - Eben so leicht begreiflich ist es, dass bei kegelförmigen keit der Electricität nach dem Scheitelpuncte hin zunehmen te selbst am grössten werden muss, weil gerade an dieser te der über die conische Oberfläche verbreiteten electricischen en Werth erhält. Wird an irgend einer Stelle der Oberfläche pitze angebracht, so muss sich diejenige Electricitätsmenge, t, der in dieser Richtung thätigen electricischen Einwirkung zu halten, an dem spitzigen Ende, d. h. auf einer Fläche von inger Ausdehnung ansammeln; ihre Dichtigkeit und Spannsstersten Punkte müsste daher, insofern sie durch einen Geügender Grösse zurückgehalten werden könnte, über jede inaus anwachsen.

Electricität an der Oberfläche eines Leiters befindet führung lehrt, in keinem dauernden Gleichgewichts-ermindert sich selbst bei zweckmässig angeordnet in trockner Luft ziemlich rasch, und verschwindet letzte Spur. Eine allmähliche Ableitung, vermittelt enden Träger, erklärt wohl bei feuchter Luftbe-16), aber nicht in trockner Luft diese fortdauernden weiss, dass eine trockne Siegellackstange von ge, durch längere Zeit anhaltendes Reiben am einen rn nicht merklich electricisch wird. Auch hat man eine Kugel von Messingblech von 1 Fuss Durchauf einer Schellacksäule von 8 Zoll Höhe und 1 ser ruht, dadurch nicht vollkommener isolirt werennu man ihr mehrere, z. B. 3 solcher Stützen gibt, 1 im letzteren Fall die ableitende Oberfläche ver1 seyn würde. Die Ursache der allmählig eintreten also hauptsächlich in der eigenthümlichen Ber Luft zu suchen. Die einen electricisirten Leiter fttheile verhalten sich in der That wie andere eile; sie werden bei der Berührung erst gleichartig 1 abgestossen. Andere müssen folglich an ihre 1 ihrerseits wieder abgestossen zu werden u. s. f. rischen Körper findet also eine fortdauernde Luft, wodurch ihm in jedem Augenblicke ein Theil sei freier Electricität entführt wird. Diese allmählichen dern sich im Allgemeinen mit der Stärke der elec; sie sind an solchen Stellen eines electricischen hohen die Dichtigkeit am grössten ist, an hervor- n, Ecken, Kanten, ebenfalls am grössten. Leiter r, überall abgerundeter Oberfläche, insbesondere dagegen die ihnen mitgetheilte Electricität, unter en Verhältnissen, am längsten zurück. Ist ein Lei- er mit mehreren Spitzen versehen, so kann er gar ichtigkeit beladen werden, oder verliert doch die ihm udung fast augenblicklich wieder. Dabei bemerkt

man eine, je nach der Menge entweichender Electricität weniger starke, wie von der Spitze ausgehende Luft. Wird eine Spitze unmittelbar an dem Conductor einer Leyden'schen Maschine angebracht, so kann der durch die rasche der folgenden Abstossungen electricisirter Lufttheile bewirkte eine solche Hefigkeit erlangen, dass die Flamme einer Kerze, wenn man der Spitze nähert, ausgeblasen wird.

Wenn man einen Messingdraht mit zugespitzten Enden und ihn in der Mitte seiner Länge so unter einem Stützpunkt herum in wagerechter Lage gebogen, in der Mitte seiner Länge so unter einem Stützpunkt herum in wagerechter Lage

Fig. 120.



wenn man dann den Fuss dieses kleinen Krümmers an dem Conductor der Maschine oder einem andern dort stehenden Leiter befestigt, so wird der durch die rückwirkende Kraft des an den Spitzen gebildeten Funken in eine drehende Bewegung versetzt.

Das Ausströmen des electricischen Fluidums durch einen Conductor der Maschine angebrachte Spritze in Form von leuchtenden Büschel oder Garben beobachtet man jedoch nur im Dunkeln sichtbar sind. Man bemerkt ein unterscheidendes Merkmal beider Principe, dass die negative Spritze bei gleicher Stärke der Erregung weit kleinere Strahlenkegel bildet. Lange, scharfe Spitzen zeigen jedoch in allen Fällen nur eine schwache Wirkung. Auch findet man, dass, wenn beide Conductoren in stumpfe Spitzen ausgehen, deren Abstand von einander nicht mehr als ein halbes Zoll beträgt, während des Betriebs der Maschine an der Seite des positiven Conductors die stärkste Luftbewegung entsteht.

332. Wiewohl Säulen von Schellack oder Siegellack von beträchtlicher Länge, so wie auch gefirnissetes Glas und Seidenschnur, wenn man durch geschmolzenes Siegellack gezogen hat, Isolierungsmittel bilden, so kann man doch weder diese noch irgend einen bekannten Körper als absolute Nichtleiter ansehen. Man kann sich leicht überzeugen, dass eine Platte von Schellack, dem geladenen Conductor eine Funke nahe gebracht, einen Funken aufnimmt, und dass ihr die gleiche Electricität eingepreßt wird. Auf ähnliche Weise muss also auch jeder isolirende Träger eines electricischen Fluidums einen Theil der Electricität des letztern aufnehmen. Die durch schlechten Leiter übergetretene Electricität dringt in denselben ein und verbreitetsich, wiewohl mit abnehmender Dichtigkeit auf der Oberfläche entlang, auf eine um so grössere Strecke, je mehr sein Isolirungsvermögen und je höher die Spannung des letztern sind. Die isolirenden Füße oder Träger müssen daher um so länger seyn, je dichter die Electricität in denselben Isolirung es sich handelt, und je unvollkommener das Isolirungsmittel das man anwendet. Bei gleicher Länge und gleichem Material sind dünnere nichtleitende Träger die Electricität am besten aufzunehmen, hauptsächlich aus dem Grunde, weil sie der Luftfeuchtigkeit eine kleinere Oberfläche bieten.

Je nach der Tension der vorhandenen Electricität und der Natur des Leiters kann eigentlich jeder nichtleitende Stoff

isolator werden; denn Alles kommt darauf an, dass die durch den Träger nicht rascher fortgeführt werde, als die Luft ohnediess geschehen müsste. Also Glas und die stark gespannte Electricität gewöhnlich nicht alten vermögen, ja selbst Holz, von dem Augenblicke zewisser, dem Leitungswiderstande dieser Stoffe gleich, geringerer Grad der Spannung eingetreten ist, weroch vorhandenen Rest des electricischen Fluidums ebeniren, als diess durch Harz möglich ist.

chte Leiter, z. B. auf eine Schellackplatte, lässt sich Electricität iger Spannung übertragen, wenn man eine hervorstehende Ecke es Leiters, auf dessen Oberfläche sie sich befindet, oder noch besser gegen die Harzplatte richtet. Die Deckelplatte des Electrophorsators verliert daher sehr leicht ihre ganze Ladung, wenn man rägt, dieselbe parallel von ihrer Unterlage abzuheben.

Electricität auf die Fläche eines Harzkuchens überspringt, verch, dem Anscheine nach, nicht gleichmässig über die verschiedenen telle, auf welche sie übertreten musste. Hierauf beruhen die Lichhen Figuren, welche man als eines der Hülfsmittel betrachtet, citäten zu unterscheiden.

teife die äussere Belegung einer kleinen geladenen Flasche und opf auf einen Harzkuchen. Ein Theil der inneren Ladung geht daHarzfläche über. Wird auf die so electricisirte Stelle irgend ein feines, er gesiebt, z. B. Hexenmehl, oder Schwefelblumen oder Mennige, ch dasselbe, je nachdem die innere Belegung der Flasche mit $+E$ Egeladen worden war, entweder zu einem Kranze mit nach allen ausgehenden Strahlen, oder nur zu einem einfachen Ringe.

as Vertheilungsverhältniss der freien Electricität auf iche eines Leiters ist nur so lange ausschliesslich durch t der Oberfläche bedingt, als andere Leiter ringsum weit egen. So wie ein anderer die Electricität leitender Körn Wirkungskreis gelangt, ändert sich ihr früherer Gleichustand.

lectricische Körper seyen z. B. isolirte Kugeln mit metallifläche, die vorher in Berührung waren und folglich gleichnamig electricirt sind. Man wird finden, dass an verschiedenen Stellen der Oberfläche sowohl von A wie von B , welchen der beiden Körper man mit Hilfe der Prüfungsscheibe untersuchen mag, eine ungleiche Dichtigkeit herrscht, und zwar findet man sie an den einander zunächst liegenden Punkten

geringsten, an den am weitesten entlegenen am grösser Unterschied ist um so bemerkbarer, je geringer der sider Kugeln, und vermindert sich bei zunehmender Ent-

ide Kugeln mit ungleichnamigen Electricitäten beladen,

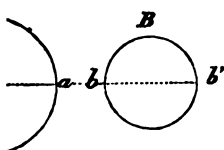


Fig. 121.

so zeigt sich begreiflicher Weise gerade an den Puncten a und b die stärkste, an den Puncten a' und b' dagegen die geringste Anhäufung.

Gesetzt, man habe der Kugel A im Voraus z. B. $+E$ mitgetheilt, während B vor dem Eintritte in den Wirkungskreis von A sich im natürlichen Zustande befand, so wird ein Theil des neutralen Electricums von B zersetzt werden; — E wird sich nach dem Theile der Oberfläche hinziehen, welcher A zugekehrt ist und am Puncte b die grösste Dichtigkeit erreichen; $+E$, vorzugsweise auf der abgewendeten Seite von B angehäuft, wird in b' die grösste Dichtigkeit besitzen. Zwischen beiden Seiten der Kugel muss folglich eine Gränze (eine Zone) seyn, welche in natürlichen Zustande verharrt.

Auf der Kugel A wird der Prüfungsscheibe überall $+E$ mitgetheilt, deren Dichtigkeit jedoch in der Nähe des Punctes a etwas zunimmt; um so mehr, je grösser der Umfang von B und je geringer der Abstand beider Körper. Die Anhäufung der $+E$ bei a , so wie der $-E$ bei b erreicht, unter übrigens gleichen Bedingungen, den grössten Werth, wenn der Leiter B mit der Erde in Verbindung gesetzt und dadurch seiner $+E$ der freie Abfluss gestattet wird. In diesem Falle wird folglich der Uebertritt beider Principe zu einander und ihre Vereinigung unter gleichzeitiger Erscheinung des Funkens am meisten begünstigt und aus dem weitesten Abstände erfolgen.

Wenn man die Kugel B gegen A rückt, ohne die durch Vertheilung frei gewordene $+E$ abzuleiten, so wird gleichwohl bei einem gewissen Abstände beider Körper der Druck der in a angehäuften $+E$ gegen die trennende Luftschicht, so wie die ähnliche Einwirkung der in b angehäuften $-E$ gross genug werden um den Widerstand der Luft durchbrechen und ihre Vereinigung bewerkstelligen zu können. Die nach dem Uebergange des Funkens in B zurückbleibende $+E$ ist dann ihrer Menge nach eben so gross als der Verlust, welchen A erlitten hat, beträgt aber immer weniger als diejenige Menge, welche bei unmittelbarer Berührung von A auf B übergeht. Die auf der Oberfläche der Kugel B gebundene ungleichnamige oder abgestossene gleichnamige Electricität kann folglich auf keinem Puncte derselben eine Dichtigkeit annehmen, noch einmal so gross, als diejenige des auf einer ähnlich liegenden Puncte der Kugel A haftenden Fluidums (330).

Wenn man gegen einen electricischen Körper eine Metallspitze richtet, die in leitender Verbindung mit der Erde steht, so ist der Widerstand der Luft nicht gross genug, um die in der Spitze entwickelte ungleichnamige Electricität verhindern zu können, selbst aus beträchtlicher Entfernung auf den electricischen Körper überzuströmen. Durch diesen Einfluss wird daher ein elek-

her Körper in sehr kurzer Zeit in den natürlichen Zustand rückgeführt.

richtet man eine lange, scharfe Spitze gegen den Conductor einer kräftig laufenden Maschine, so senkt sich alsbald die Kugel des Henley'schen Electrors; ein Einfluss, der sogar bei 8—10 Fuss Entfernung noch bemerkbar ist. Wagt aber der Abstand der Spitze von der Oberfläche des Conductors nur 3 Fuss, so nimmt der Conductor trotz des lebhaftesten Betriebs der Maschine keine Ladung an. — Im Dunkeln leuchtet die Spitze.

Wird die Spitze gegen den Knopf einer stark geladenen Flasche gerichtet und allmählig demselben genähert, während man die äussere Belegung mit der Hand berührt, so entladet sich die Flasche in wenigen Sekunden ohne Geräusch und ohne eine Erschütterung der Nerven zu bewirken:

334. Wenn ein stark electricisirter Körper, z. B. der Conductor einer im besten Gange befindlichen Electricirmaschine, von veredelartigen Stoffen, guten und schlechten Leitern umgeben ist, so wird der natürliche electricische Zustand in allen ohne Ausnahme gestört, das gleichnamige Fluidum abgestossen, das ungleichnamige angezogen. Der hieraus hervorgehende Druck gegen die Luft nimmt zu, je mehr sich der electricische Körper und seine Theile einander nähern. Diese Vertheilung geht jedoch in guten Leitern leichter und vollständiger als in den schlechten vor sich, und überhaupt um so vollständiger, je schneller und weiter sich die gleichartige (abgestossene) Electricität entfernt; sie wird daher in solchen Leitern, die mit der Erde in Verbindung stehen, am vollständigsten eintreten. Der electricische Funke kann demnach auf jeden Körper in der Umgebung des Conductors überspringen, er wird aber denjenigen am sichersten treffen, der bei der grössten Nähe die beste Leitfähigkeit besitzt. Besteht sich in der Nachbarschaft des Conductors ein Leiter, der mit einer langen, scharfen Spitze versehen ist, so wird bei diesem die Vertheilung wie bei allen andern Körpern in der Nähe vor sich gehen. Allein während die gleichnamige Electricität in den Boden weicht, muss die ungleichnamige durch die Spitze ausströmen. Während also an den dem Conductor zugekehrten Enden der andern Körper, je nach dem Grade ihrer Leitfähigkeit, die ungleichartige Flüssigkeit in grösserer oder geringerer Menge sich anhäuft, ist der mit der Spitze versehene der einzige, welcher im natürlichen Zustande verharrt. So wie eine Entladung erfolgt und der Conductor seinen electricischen Zustand verliert, müssen die in der Umgebung der Gegenstände der Umgebung getrennten Electricitäten sich wieder vereinigen. Waren nun in einem Körper durch die vertheilte Einwirkung beträchtliche Electricitätsmengen ausgeschieden und an entgegengesetzten Enden angehäuft worden, so kann der Austritt derselben, nämlich ihre Wiedervereinigung, von ähnlichen Erscheinungen, z. B. wenn lebende Geschöpfe einen Theil leitenden Systems ausmachten, von einem ähnlichen Nervenströme begleitet seyn, wie der direkte electricische Schlag. Man nennt diese Erscheinung Rückschlag.

Ueber Luft - Electricität und Gewitterable

335. Bekanntlich hat der berühmte Amerikaner Franklin zuerst mit Bestimmtheit nachgewiesen, dass die Ursache des Blitzes und diejenige des electricischen Funkens der Stärke verschieden sind. Er hob hauptsächlich folgende Ähnlichkeiten in der Natur beider Erscheinungen hervor:

1. Das Zickzack des Blitzes gleicht dem eines electricischen Funkens, der aus einiger Entfernung überspringt.

2. Der Blitz schlägt am häufigsten in hohe, hohe Gegenstände, in die Gipfel der Berge, die Masten der hohen Bäume, Thürme u. s. w., gleich wie auch der Funken auf die hervorspringendsten Theile der nahen Körper am leichtesten übergeht.

3. Der Blitz schlägt am häufigsten in solche Körper, die Leiter der Electricität sind, in Metalle, Wasser u. s. w., und nicht in Nichtleiter.

4. Der Blitz entzündet verbrennliche Körper, schmelzbare, zersplittert die spröden, zerstört das thierische Leben. Aehnliche Wirkungen lassen sich durch die Electricität vorbringen.

Franklin begnügte sich jedoch nicht mit dieser Veranschaulichung, es gelang ihm im Sommer 1752, mittelst eines mit einem spitzen versehenen Drachen, dessen Faden durch den Regen feuchtet und dadurch leitend geworden war, die Electricität aus den Wolken herabzuziehen und damit alle die Versuche, die man mit der Electricitätsmaschine anzustellen pflegt, nachzuahmen. Diese Versuche wurden, auf Franklin's Anrathen, fast gleich mit demselben Erfolge in Frankreich und England angestellt, bald an vielen Orten wiederholt.

Im grössten Maasstabe sind die Versuche mit dem Drachen von de Romas wiederholt worden. Er kam danken, dem Faden eines sehr grossen Drachen einen Metalldraht einzuflechten, dessen unteres Ende er durch einen Isolirstrang isolirte. Ein Conductor, von dem eine Kette herabreichte, konnte mittelst eines isolirenden Handgriffs an dem Ende des Fadens beliebig genähert werden. Auf diese Weise gelang es de Romas, nachdem sich sein Drache über eine Gewitterwolke zu sehr bedeutender Höhe erhoben hatte, eine ganze Stunde hindurch Ströme von Funken zu erhalten, die selbst schlugen bis zu 10 Fuss Entfernung, und zwar durch den besten Leiter über. Das Geräusch, von dem sie begleitet waren, glich dem Knalle einer Pistole. — Auch der Blitz, der gewöhnlich von einem heftigen Getöse begleitet, das von der Bewegung herrührt, die er bewirkt, indem er die Luft durchbricht, hat den gleichen Ursprung mit dem Knistern des kleinsten

Funkens. Durch den Wiederhall des Donners an den Bergen und andern Erhabenheiten entsteht das Rollen und lange Nachhallen desselben.

Die Gewissheit, dass der Blitz nichts Anderes sey, als eine starke electricische Entladung; die Leichtigkeit, womit es gelang, mittelst eines langen, am oberen Ende zugespitzten Leiters die Electricität aus den Wolken selbst herabzuziehen, führte Franklin zur Erfindung des Blitzableiters.

Jede Gewitterwolke verhält sich ähnlich wie ein mit Electricität beladener und durch die umgebende Luft isolirter Leiter. So oft daher eine schwere Wolke über die Erde zieht, wird der natürliche electricische Zustand aller unter ihr befindlichen Erdkörper aufgehoben. Die auf solche Weise auf der Erdoberfläche entwickelte ungleichnamige Electricität häuft sich allmählig an, je näher die Wolke rückt, und nimmt eben so allmählig wieder ab, wenn sich die Wolke entfernt. Ein Mensch, diesem Einflusse ausgesetzt, würde nichts davon empfinden, aber durch plötzliche Entladung der Wolke nach einer ganz andern Richtung, wodurch ihre Wirkung auf die Erde eben so plötzlich aufhören müsste, könnte er, ohne selbst vom Blitze getroffen zu seyn, durch blossen Rücktritt der in ihm angesammelten Electricität, durch den sogenannten Rückschlag, eine sehr heftige und selbst lebensgefährliche Erschütterung erhalten.

Durch die wechselseitige Anziehung der Wolken-*Electricität* und ihres Gegensatzes auf der Erde können die Gewitterwolken genöthigt werden, sich tiefer herabzusenken, und wenn sich gute Leiter, z. B. grosse Wassermassen in der Nähe vorfinden, kann dadurch sogar ihre Bewegung aufgehalten und selbst ihre Richtung geändert werden.

Je mehr *Electricität* eine Gewitterwolke enthält, je mehr sie sich den Erdkörpern nähert, je feuchter und besser leitend die zwischen beiden befindliche Luftschicht ist, je besser die Erdkörper selbst leiten, je vollständiger ihre leitende Verbindung mit grossen Massen feuchten Erdreichs oder mit fliessendem Wasser, um so schneller wird das der Wolken-*Electricität* gleichartige Fluidum zurückgedrängt, das ungleichartige angezogen und auf der Oberfläche der Körper verdichtet; um so wahrscheinlicher ist folglich der Eintritt einer electricischen Entladung, des Blitzes.

Wenn nun unter verschiedenen Erdkörpern in der Nähe einer sich befindet, der bei weitem besser als alle übrigen leitet, wenn derselbe überdies über die andern hervorragt, am obern Ende zugespitzt ist und mit dem feuchten Erdboden so gut wie möglich leitender Verbindung steht, so wird der niederfahrende Blitz vor allen am wahrscheinlichsten aufsuchen.

Unter einem Blitzableiter versteht man einen solchen Leiter, von dem sich mit Sicherheit annehmen lässt, dass die etwa

in der Richtung der Erde sich entladende Electricität unter allen Körpern der Umgebung ihn vorzugsweise um auf den Boden zu gelangen, wählen werde. Die Erfordernisse eines Blitzableiters ergeben sich bei Berücksichtigung der bekannten Eigenschaften des electrischen sehr leicht. Die Metalle bieten sich dazu als das Material, indem sie die übrigen Körper ohne allen Vergleich in ihrer Leitfähigkeit übertreffen. Unter den Metallen würde als einer der vorzüglichsten Leiter zu wählen seyn; wird aber Eisen, wegen seiner grösseren Wohlfeilheit, dieser metallische Leiter muss über die höchsten Punkt des schützenden Gebäudes hervorragen, in ununterbrochener Verbindung bis zur feuchten Erde oder zu fliessendem Wasser gehen und von erfahrungsmässig hinreichender Dicke selbst die grösste Menge von Electricität, welche möglicherweise aus einer Gewitterwolke hervortreten kann, indem sie durch denselben nimmt, weniger als durch irgend anderen Leiter der Nähe aufgehalten wird. — Der Blitz trifft häufig einzeln auf Bäume, weil diese, indem sie sich zu bedeutender Höhe erheben und ihre Wurzeln theils tief in die Erde senken, theils in verschiedenen Richtungen verzweigen, wahre Gewitterastere besitzen jedoch diese Eigenschaft nur in unvollkommener Grade, daher dieselbe zuweilen für diejenigen verwerflich ist, welche Schutz unter ihnen suchen. Als mittelmässige Leiter statten sie der electricischen Flüssigkeit keinen sehr leichten Durchgang, daher der Blitz auf bessere Leiter, wie Menschen und Thiere, wenn sie sich in der Nähe befinden, leicht über diese den Weg nach der Erde sucht.

Auch das Wasser leitet schlechter als lebende Thiere, daher die Gefahr, vom Blitz getroffen zu werden, wird folglich für die Nähe des Wassers eher vergrössert als verringert.

Ganz anders verhält es sich mit dem metallischen Leiter von hinlänglicher Dicke. Diesen verlässt der Blitz niemals, er auf Holz oder Stein unmittelbar aufliegen, oder unmittelbar in Wasser gehen sollte; selbst dann nicht, wenn man die Hand umspannte, denn kein anderer Körper kann der electricischen Flüssigkeit einen rascheren Durchgang gewähren. Nur die Möglichkeit eines Mangels an metallischem Zusammenhange oder eines unvollständigen Uebergangs zu dem feuchten Boden macht es möglich, während eines Gewitters von dem Ableiter entfernt zu stehen.

Wenn jedoch ein Blitzableiter die oben verlangten Eigenschaften nicht besitzt, wenn er z. B. nicht dick genug ist, so ist nur Gefahr der Erwärmung und selbst der Schmelzung zu befürchten, denn es kann auch wegen dieser verminderten Leitfähigkeit Abspringen des Blitzes auf nahe liegende Körper stattfinden, dem ein Theil der Electricität, so weit es die Capacität

ben bis in die Erde folgt, der übrige Theil aber in der nächsten Umgebung eine bessere Ableitung findet. Ein oft hergestellter Ableiter kann nun freilich keine Sicherheit gewähren; irrig würde jedoch die Vorstellung sein, dass er die Gefahr vermehre, indem er sie herbeiziehen vor ihr schützen zu können. Aus dem Vorhergehenden geht ein, dass schlechte Gewitterableiter eben dadurch, dass sie Sicherheit zu geben, weil sie vergleichungsweise in der nächsten Umgebung nicht mehr vorzugsweise eine anziehende Kraft ausüben, die ohnedies in dieser Richtung sich entladende Electricität auszuüben vermögen. Sie können also in keiner Gefahr mehr herbeiziehen, als es überhaupt gute Ableiter thun. So z. B. die Schornsteine, wegen der darin aufsteigenden Dünste, oder wegen des Russes, womit ihre Wände beschmutzt sind, eiserne Stubenöfen, wie Dachkandeln, Metallplatten und wie überhaupt grössere Metallmassen, die doch in Menge und ohne Bedenken verwendet werden. Eine 80jährige Erfahrung gelehrt, dass Blitzableiter, wenn sie mit Sorgfalt ausgeführt waren, die Gebäude, worauf sie aufgestellt waren, vor dem Blitze vollkommen schützten. Man hat nicht bemerkt, dass der Blitz auf geschützte Wohnhäuser als auf andere nicht geschützte herabgefallen sey. Man streckt sich die anziehende Kraft auch des besten Ableiters an seiner geringen Masse auf eine zu kurze Entlassungsweg erwarten liesse, er allein vermöge die Richthaltungen, in welcher sich die Electricität einer Wolke ergiesst.

Die Erfahrung sagen uns also, nicht sowohl dass die Electricität herbeiziehen, sondern dass, wenn derselbe zu einer bestimmten Richtung wählt, in der sich ein Ableiter befindet, dass er in dieser Richtung getroffen wird.

Wenn man einen sehr starken Blitzableiter vermöge wirklicher Anziehung aus den Wolken anzuziehen, und diess liesse sich leicht auf hohen Thürmen angebracht sind, mit mehr Sicherheit vermuthen, so würde diese Eigenschaft nothwendig andere bedingen, denselben ohne Gefahr in den Händen zu halten, gleich wie die Electricität eines geladenen Condensators kleinen nahestehenden Leiter nur dann überträgt, wenn derselbe mit der Erde in Verbindung steht.

Blitzableiter lassen sich drei Haupttheile unterscheiden: die Aufsteige, die Ableitung und die Versenkung.

Die Aufsteige ist eine Stange aus Schmiede-Eisen, gewöhnlich vierkantig, pyramidal zulaufend. Ihr Zweck ist, an dem zu schützenden Gebäude einen Punkt zu gewinnen, der, weil er über alle andern hervorragt, die stärkere Anziehung als alle unter ihm befindlichen Theile ausübt, dem Analle des Blitzes vor allen aus-

Die Aufsteige muss daher an der höchsten Stelle des Hauses aufgerichtet

tet und wenigstens so hoch seyn, dass sie über die Schornsteine. Am obersten Ende derselben pflegt man eine kupferne, stark ver- aufzuschrauben. Diese Spitze ist vielleicht nicht unumgänglich nöthig, gewährt aber jedenfalls den Vortheil, dass aus derselben dem in handnen electrischen Fluidum sein Gegensatz entgegenströmt durch allein schon die energischen Wirkungen des Blitzes bedeu- dert werden können. Mehrere Spitzen an der Auffangstange, kreuz- anderer Weise angebracht, sind allerdings zwecklos und we- der nöthig, noch durch die Theorie motivirt.

Die schützende Kraft der Auffangstange erstreckt sich nach rung gegründeten Gutachten der Pariser Akademiker *) auf dessen Halbmesser ihre doppelte Höhe nicht übersteigen darf. Z von 15 Fuss Höhe sichert nur solche Stellen eines Gebäudes, welche Höhe mit ihrem Fusspuncte, von diesem nicht mehr als 30 Fuss Man pflegt die Höhe von 12 — 15 Fuss nicht zu überschreiten; Dachfirst mehr als 60 Fuss lang ist, müssen daher zwei oder meh- rere Stangen erhalten, so dass der Abstand von zwei Stangen nie mehr als 15 Fuss ausmacht.

Die Dicke der Stange, da wo sie auf der First aufsitzt, beträ- glich, oben darf sie sich bis zu $\frac{1}{4}$ Zoll verjüngen.

Unter der Ableitung versteht man die metallische Ver- bindung von der Auffangstange, wo möglich auf dem kürzesten Wege, d- ie Hälfte des Hauses darbietet, nach dem Boden herabführt. Sie wird von Eisen; aber auch Kupfer, Messing und Blei werden zu dieser Ver- bindung verwendet.

Das Eisen wird in runden und viereckigen Stangen und neue- sten in Form gewalzter Schienen angewendet. Man hat keine Eisenstangen von $\frac{1}{4}$ Quadratzoll Querschnitt durch den Blitz wi- den oder auch nur erwärmt worden. Diese Dicke kann daher nicht betrachtet werden. Den Schienen gibt man 1 Zoll Breite und $\frac{1}{4}$ Zoll Dicke.

Die einzelnen Stücke werden an den Enden etwas breiter ge- macht und eben gefeilt und mittelst Schrauben und Muttern sowohl an die Stange, wie an einander befestigt. Um den metallischen Zusam- menhang zu sichern, kann man zwischen jede Verbindungsstel- le ein scheueres Bleiblättchen legen. So weit die Ableitung auf dem Dach pflegt man sie auf 4 — 6 Zoll lange, oben zum Einlegen der Star- ken versehene eiserne Stützen zu legen, welche 15 — 16 Fuss von ein- ander in die First des Daches eingeschlagen werden. Da wo die Lei- tung der Seitenwand des Gebäudes herabläuft, kann man sie mit Kie- selmauer befestigen. Kein Theil eines Blitzableiters braucht isolirt zu seyn, Wohl aber müssen grössere Metallmassen, wie Dachkandeln u. s. w. in Zusammenhang damit gebracht werden. Man führt die Ableitung der Wettersseite herab. Mehr als eine bei einem gewöhnlichen Gebäude überflüssig.

Um den Blitz mit voller Sicherheit in die Erde ableiten zu können, pflegt man die Ableitungsstange noch eine Strecke Wegs unter dem Boden fortzuführen. Man nennt diesen untersten Theil derselben die Versenkung. Die nöthigen Anlegung hängt eigentlich der Werth der ganzen Vor- richtung ab, nämlich darum, die electrische Flüssigkeit aus ein- zelnen leitenden Kanäle (der Eisenstange) auf einen verhältnissmässig schlechteren Leiter, den Erdboden, ohne Aufenthalt zu übertra- gen, folglich suchen, die Uebergangspuncte möglichst zu vervielfachen. Am Ende pflegt man vom Grunde des Gebäudes ab einen 4 — 5 Fuss

*) Instruction sur les Paratonnerres, adoptée par l'Academie royale des Sciences le 1823 et rédigée par une Commission composée de MM. Poisson, Lefebvre, Delong, Fresnel et Gay-Lussac, Rapporteur (Annales de Chim. et de Phys.

zu eröffnen, in welchen das Ende der Stange, umgeben von einem en Wulste von Blei, und am besten in mehrere Aeste auslaufend, Lage von zerschlagenen Holzkohlen eingelagert wird. Man gibt dann die Lage Holzkohlen - Stücke an, bevor man den Graben wieder öffnet.

Die fortgesetzte Beobachtungen über den electricischen Zustand der Wolken haben als Thatsache herausgestellt, dass sie Electricität beladen sind. Bald zeigt sich dieselbe von sich als bald von negativer Beschaffenheit, und oft wechseln in den erziehenden Gewölke beide Zustände rasch mit einander ab. Diese Ladungen werden, wenigstens in der gemäßigten Zone der Erde, in den meisten Fällen durch Regen und Schnee, durch auffallende Erscheinungen, zur Erde herabgeleitet. Dies ist also nur die Folge einer ungewöhnlich starken Ladung des electricischen Fluidums in den Wolken.

Die Anwesenheit freier Electricität in der Atmosphäre ist aber nicht im Umfang der Wolken beschränkt; auch bei dem gewöhnlichen Feuchtigkeitszustande, ja zur Zeit der grössten Trockenheit findet sich Electricität in der Luft, die durch empfindliche Instrumente, welche man, mit langen, oben zugespitzten metallenen Stäben verbunden, dem freien Luftraume aussetzt, angezeiget wird. Diese Electricität ist bei heiterer Witterung immer von geringer Intensität ist gewöhnlich gering, scheint aber in den kalten Monaten der Atmosphäre zuzunehmen.

Die Beobachtungen über den electricischen Zustand der Luft in der Höhe, wird eine, oben in eine lange dünne Spitze ausgehende Vorrichtung, welche, ähnlich der Auffangstange des Blitzableiters, über dem Dache des Gebäudes hervorsticht, isolirt in das Innere des Gebäudes gebracht, mit einer isolirten Kugel zusammenhängende Ende derselben mit dem Electrometer verbunden oder auch mit der Erde in leitenden Zusammenhang gesetzt werden. Letztere muss sorgfältig, wie diejenige eines Blitzableiters hergerichtet seyn. Der Apparat derselben wird gewöhnlich in der Entfernung von ein Paar Fuß von der Kugel des Zuleiters aufgestellt, damit etwa eintretende sehr heftige Anhäufungen gefahrlos abgeführt werden können.

Die Einwirkung der Luft auf diese, so wie auf andere geeignete Vorrichtungen ist im Winter stärker als im Sommer; alltäglich mit Sonnenaufgang, nimmt nach 9 Uhr wieder ab, steigt bei Sonnenabgang abermals um dann während der Nachtzeit allmählig wieder an. Kurz vor Sonnenaufgang, ist sie am schwächsten. Dieses Verhalten der Witterung ziemlich regelmässig. Bei bewölktem Himmel sind die Abweichungen, wiewohl auch dann nur positive Electricität in der Luft beobachtet wird. Nur während eines Gewitters, sowie bei Regen- oder Schneewetter, wechselt man bald positive, bald negative Electricität; man dann eine weit grössere electricische Intensität als bei heiterer Witterung.

Die Ursachen scheinen zu der in der Atmosphäre beobachteten Electricität beizutragen. Als die erheblichsten derselben sind die Verbrennungsprozesse kohlenstoffhaltiger und gasartiger Körper und insbesondere die Dampfbildung bei diesen zu nennen. Hat nämlich die Beobachtung gemacht, dass Körper, die bei der Verbrennung eine grosse Menge von Electricität entwickeln, auch in der Atmosphäre eine grosse Menge von Electricität enthalten, so ist dies ein Beweis, dass die Electricität, die bei der Verbrennung entsteht, sich in der Atmosphäre anhäuft.

welche in der Luft verbrennen, freie negative Electricität anmen, während das durch die Verbrennung erzeugte Wasser oder die erzeugte Kohlensäure sich mit positiver Electricität laden. — Ebenso zeigt sich während des Processes der Bildung eine Störung des natürlichen electrischen Gleichgewichts, die aus den Gewässern aufsteigenden Dämpfe treten in den electrischen Zustand; die zurückbleibende Flüssigkeit dagegen oder andere damit in Berührung stehende Körper werden negativ electrisch.

Will man diese Art der Electricitätsentwicklung durch Versuche zeigen, so befestige man an der unteren, auf dem Electrometer aufgesetzten Platte eines Condensators, einen Metalldraht und gebe demselben 3—4 seitwärts von dem Instrumente eine ringförmige Biegung. Man bedeckt letztere mit einer Scheibe von Platin, setze einen Kohlenzylinder darauf, das obere Ende man entzündet hat, und berühre die obere Condensatorplatte dem Finger. Nach wenigen Augenblicken, zumal wenn die Verbrennung der Zuströmen von Luft, z. B. mittelst des Löthrohrs, belebt wird, nimmt die Platte eine negativ electrische Ladung an. — Um zu zeigen, dass die Kohlensäure mit positiver Electricität entweicht, setzt man die brennende Kohle, die sie zu isoliren, unter die Platinscheibe, so dass diese mit dem stromaufsteigenden Kohlensäure in Berührung kommen muss.

Bringt man auf die ringförmige Biegung des Drahts eine Platinscheibe, die man hitzt dieselbe bis zum Glühen und giesst dann einige Tropfen einer Säure oder auch gewöhnliches Brunnen- oder Flusswasser hinein, während die obere Platte des Condensators in leitender Verbindung mit der Erde steht, so verdichtet sich — E in der unteren Condensatorplatte. Eben so leicht lässt sich beweisen, dass der Dampf mit + E beladen, fortgeht. Das Wasser der Quelle und Flüsse ist selten ganz rein, fast immer enthält es fremdartige Stoffe, die auch in geringer Menge aufgelöst. Chemisch reines Wasser entwickelt bei der Verdampfung keine Spur von Electricität. Man hat hieraus den Schluss gezogen, dass die Störung des electrischen Gleichgewichtes bei der Verdampfung wässriger Flüssigkeiten, nicht sowohl dem Uebergang des Wassers in Dampfform, als vielmehr einem gleichzeitigen chemischen Prozesse, nämlich der Trennung der Wassertheile von dem Stoffe, womit sie in der Auflösung verbunden waren, zuzuschreiben sey.

Der Vorgang der Verdampfung bildet einen so ausgiebigen Electricitätsquell, dass man ihn neuerdings als ein Mittel benutzt hat, Electricität in großer Menge und von ähnlicher starker Spannung, wie sie mittelst der Electricitätsmaschine erhalten werden kann, zu gewinnen. Die von ihrem Erfinder Armstrong (Pogg. Ann. 60. 352) sogenannte Hydro-Electricitätsmaschine steht im Wesentlichen aus einem isolirten cylindrischen Dampfkeessel, auf dem Feuerherd sich im Innern befindet. Die Feuerluft wird durch Röhren, die den Kesselwasser umgeben sind, in eine mit dem Kessel zusammenhängende Röhre, damit ein einziges isolirtes System bildende Rauchkammer geführt und geht aus dieser in den Schornstein. Die gebildeten Dämpfe strömen durch eine Anzahl enger nach Aussen sich erweiternder Röhren aus, die den Zweck haben, der austretenden elastischen Flüssigkeit Bewegungshindernisse entgegenzusetzen, weil der Erfinder von der durch spätere Versuche von Faraday rechtfertigten Vorstellung ausgeht, dass Reibung an den Röhrenwänden hauptsächlichste Ursache der Electricitätserregung bei seiner Maschine (A. a. O. 348). Gegen den ausströmenden Dampf ist eine Reihe von Metallspitzen gerichtet, die mit der Erde in leitender Verbindung stehen und dazu dienen, die + E des Dampfes möglichst rasch zu entfernen. Je weiter diese Spitzen von den Ausströmungsöffnungen entfernt hält, um so stärker die Spannung der auf der Oberfläche des Kessels angehäuften — E. Bei 1 Zoll Abstand der Spitzen wurden zuweilen Funken von 22 Zoll Länge erhalten.

der grossen Menge von Electricität, welche durch den un-
 ochen fortgehenden Process der freiwilligen Verdampfung
 r Verdunstung in die Atmosphäre übertritt, und durch auf-
 de Luftströme in die Höhe geführt wird, begreift man nun-
 warum überall und zu jeder Zeit Electricität darin gefunden
 nd warum dieselbe vorzugsweise, ja gewöhnlich positiv ist.
 Wolken, insbesondere die durch sehr starke Abkühlung ent-
 en, dichten und schweren Gewitterwolken, müssen wegen
 ehaltes an bereits tropfbarem Wasser einen weit höhern
 r Leitfähigkeit besitzen, als Luftmassen, in welchen feuchte
 schläge noch nicht erfolgt sind.

Luft-Electricität im ganzen Umfange einer Wolke sammelt
 richtet sich daher mit mehr oder weniger grosser Schnel-
 je nach der Stärke des Wasserniederschlags an der Ober-
 derselben, ganz so, wie es bei einem electricirten Leiter,
 einem schlechter leitenden Mittel umgeben ist, geschehen
 So erklärt es sich, dass dem Ausbruche heftiger Gewitter
 eine sehr starke und gewöhnlich auch eine sehr rasche
 bildung vorhergegangen ist.

gewöhnlich sehr grosse Länge des Blitzes erklärt sich aus
 vollkommenen Leitfähigkeit der Wolken, wodurch bewirkt
 dass der Blitz nicht sowohl einen einzigen überschlagenden
 bildet, sondern mehr eine Funken-Reihe, ähnlich dem
 Uebergange bei einer Blitztafel.

leicht begreiflich ist nach dem gegenwärtigen Um-
 unserer Erfahrungen, dass in den atmosphärischen Nieder-
 und in den Gewitterwolken fast eben so oft — E. als + E.
 wird. Man nimmt indessen an, dass die Stärke des Was-
 erschlages, so wie die der electricischen Anhäufung in Wol-
 che in verschiedenen Höhen des Dunstkreises entstanden
 ht gleich sey. Wenn sich aber Electricität der einen Art
 am Leiter in verhältnissmässig bedeutenderer Menge be-
 ls auf andern der Umgebung, so wird in diesen der Gegen-
 ch Vertheilung hervorgerufen. Durch wechselseitige Ein-
 ungleich stark electricirter Wolken können also beide
 täten auftreten, wenn schon ursprünglich die positive das
 wicht in der Atmosphäre hat.

Berührungs-Electricität.

Verschiedenartige Körper werden schon bei der blossen
 ig (beim Kontakte) entgegengesetzt electricisch. Die Ten-
 hierbei ausgeschiedenen Electricitäten ist jedoch niemals
 um ohne Beihülfe der empfindlichsten electrometrischen
 ge wahrnehmbar zu seyn. Die Art der Electricität, die ein
 bei der Berührung mit einem andern annimmt, ist unter

der Bedingung ganz reiner Berührungsflächen derjenige, welche durch Reibung mit diesem andern (insofern er netes Reibzeug bilden kann) hervorgerufen werden können. Stoffen von ganz gleichartiger Oberflächen-Beschaffenheit die Berührung keine Störung des electricischen Gleichgewichts.

Berührt man z. B. eine reine Kupferplatte mit einer noch ungeladenen Glas- oder Schellackscheibe, so wird das Kupfer negativ electricisch, der Glaskörper positiv. Holz oder Papier mit Schellack berührt wird positiv, die harzige Substanz negativ. Um diese electricischen Zustände weniger empfindliches Electrometer erkennen zu machen, kann man ein electricisches Verstärkungsapparates bedienen, der vom seinem Erfinder den Namen *Duplicator* erhalten hat. Er besteht aus drei gewöhnlichen Condensatorplatten *a*, *b* und *c*, von welchen die erste auf dem Goldmetern sitzt, die zweite von einem isolirenden Fusse getragen wird, der mit einem Deckel, mit einer isolirenden Handhabe versehen ist. Gesetzt, *c* sei geladen worden; man berühre *a* mit einer von Glas isolirt abgehobenen Platte *c* mit dem Finger, so wird die im Kupfer erregte — *E* in die untere Condensatorplatte eingesogen, in der oberen eine entsprechende Menge $+$ *E*. Hebt man dann *c* von *a* ab, stellt es auf *b*, während man dieses mit dem Finger berührt, so wird darin nahe eben so viel $+$ *E* gebunden als in *a*. Verbindet man daher *a* und *b* mittelst eines kleinen, isolirt abgehobenen Ladens, und berührt *c* mit dem Finger, ohne es von *b* abzuheben, sowohl in *b* wie in *c* noch einmal so viel Electricität ansammeln, als in dieser Platten vorher enthalten war. Indem man dieses Verfahren nämlich *c* abwechselnd auf *a* und auf *b* stellt, zuerst die untere Platte mit der Erde, dann *a* und *b* leitend verbindet, dagegen *c* mit dem Finger berührt, wird die ursprünglich mitgetheilte Electricitätsmenge *n*-fache, achtfache, sechzehnfache u. s. w. vermehrt. Die Vervielfältigung einer gegebenen Quantität des electricischen Fluidums, mit Hilfe des *Duplicator* steigt also in einem sehr schnell zunehmenden Verhältnisse und ohne Grenzen. Aber eben deshalb darf man nie unterlassen, die Instrumente erhaltenen Resultate durch Gegenversuche zu controliren, man sich sonst der Gefahr aussetzt, durch zufällig, z. B. durch Reibung der Condensatorplatten aneinander, oder irgend andere Ursachen Entwicklung einer irre geleitet zu werden.

Der Vorgang des Reibens ist eigentlich nur ein vervielfältigt. Da nun die bei der einfachen Berührung erregte Electricität von den verschiedenen nur in der Stärke verschieden ist, da ferner die durch Reiben anscheinend gleichartiger Stoffe bewirkten, verhältnissmäßig nur geringen electricischen Erregungen, in der Mehrzahl der Fälle wegen der Verschiedenheit entweder der äusseren, physikalischen Beschaffenheit oder der Temperatur abgeleitet werden können, so hat man Grund zu vermuthen, dass Reibungselectricität und Berührungselectricität von derselben Ursache herrühren, und dass eine Erklärung der Entstehung der einen, die der andern einschliesst. — Um eine reichliche Electricität zu erhalten, muss, wie bekannt, wenigstens der eine der beiden Körper ein Nichtleiter seyn. Auf dem Nichtleiter haftet die Electricität, während bei fortgesetzter Reibung, also durch Wechselwirkung stets neue Erregungen eintreten. Die Electricitätsmenge daher anhäufen, bis endlich ihre Spannung gross genug geworden ist, um den Widerstand zu überwinden. Ueber diese Gränze hinaus folgt auch noch so starke Reibung bleibt ohne Erfolg.

339. Bei der Berührung werden je zwei verschiedene Körper im Widerspruche mit dem, wovon uns die Lehren der Berührungselectricität unterrichtet, auch dann electricisch,

leiter sind. Die Electricitätserregung ist in diesem Falle im leichtesten und sichersten nachweisbar.

Eine Kupferplatte, die auf der einen Seite recht eben abgegraben, auf der andern mit einem 3—4 Zoll langen Stiele versehen ist, und eine ähnlich eingerichtete Zinkplatte mit ihren glatten Flächen zusammengelegt, dann, indem man an ihren isolirenden Handhaben fasst, wieder getrennt. Die erste wird dadurch freie negative, die zweite freie positive Electricität aufnehmen. Diese entgegengesetzten Zustände sind mittelst eines sehr empfindlichen Electroscoops direct wahrnehmbar. Durch Beihülfe des Condensators verstärkt, können sie an jedem Electrometer beobachtet werden. Man theile zu dem Zweck die Electricität des Kupfers der einen Condensatorplatte, die des Zinks der andern mit, bringe dann beide Körper von Neuem in Berührung, trenne sie wieder und verfähre überhaupt wie vorher. Nach 6—12 oder mehr Wiederholungen dieser Art (es hängt von der Empfindlichkeit des Electrometers ab) wird der Condensator hinlänglich stark geladen seyn, um nach Abhebung der Zinkplatte einen deutlichen Ausschlag der Goldblättchen oder anderer Anzeiger bewirken zu können.

Das Gelingen dieses Versuches erfordert reine Berührungsfächen, trockne Handhaben, trockne Luft und ein paralleles Abheben der Platten. Die letzteren gewöhnlich einen Durchmesser von 3 Zoll. Die Menge der aufzunehmenden Electricität ist bei gleicher Oberflächen-Beschaffenheit der Platten proportional der Berührungsfächen. Uebrigens ist es nicht wesentlich, Kupfer- und Zinkplatten zu wählen; irgend zwei andere Leiter mit ebenen Flächen, damit sie sich recht viele Berührungspuncte bieten können, werden ebenfalls dergleichen Erscheinung zeigen.

Die Reibung zweier guten Leiter aufeinander, kann die schon bei einfacher Berührung derselben erfolgende electricische Ausschlag nicht im geringsten überbieten.

Diese durch wechselseitige Einwirkung zweier ungleichartigen Electricitäten erregten Electricitäten befinden sich während der Berührung im gebundenen Zustande und können demnach nach der Trennung der Platten auf das Electrometer einwirken. Dass sie aber wirklich schon im Augenblicke der Berührung erzeugt werden und nicht erst ein Product der Trennung sind, kann man daraus, weil abwechselnd von dem einen und andern der beiden Körper, ganz so, wie es die Bedingungen der Bindung erfordern, kleine Mengen Electricität abgeleitet werden, mittelst eines geeigneten Verdichtungsapparates gesammelt werden können.

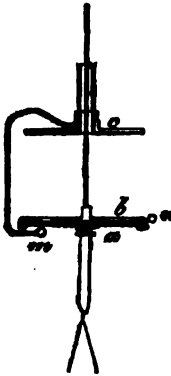
Man nehme einen Condensator, dessen einer Theil aus Kupfer, der andere aus Zink besteht; man verbinde die Kupferseite des Condensators mit dem einen Ende eines Paars einen Augenblick mit der Kupferplatte des Condensators, die Zinkseite mit der Zinkplatte. Letztere wird dadurch positiv, die erstere mit — E. geladen.

Dieser Versuch lässt sich beliebig oft, stets mit gleichem Er-

folge wiederholen. Die abgeleiteten Electricitäten mi durch neue Erregung immer wieder ersetzt werden.

Die so erhaltenen electricischen Ladungen können nicht, wie di Platten (309) bewirkten, auf jedes Electroskop einen Eindruck erfordern empfindliche Instrumente. Mittelst des Duplicators die Wirkung verstärken; noch geeigneter zu diesem Zwecke ist Art von zusammengesetztem Condensator, dessen Gebrauch n Duplicators zu zweideutigen Anzeigen führen kann. Er beste

Fig. 129.



einander liegenden Platten *a*, *b* und *c* (Fig chen die unterste und oberste aus gleichart beide aus Kupfer oder überguldetem Messing sein müssen, die mittelste kann aus andern Zink bestehen. *c* ist in der Mitte durchbroch lrende Handhabe hohl, dergestalt, dass w sie den isolirenden Stiel von *b* umschliesst, u auch ganz entfernt werden kann, ohne die rücken; *a* sitzt auf dem Electrometer. *b* is nist und an der einen Seite mit einem klei demselben Stoffe, wie die Platten *a* und *c*, dünner cylindrischer Stiel in eine entspreche geht. *a* ist nur an der oberen, *c* nur an de mit Firnis überzogen. An der Berührung: platte *b* und des daran befestigten Knopfes *n* trische Erregung statt. Setzt man daher d der Oberfläche von *c* in leitende Verbindung *b* auflegt, so laden sich beide Platten; die *c* die letztere mit $+ E$. Hebt man hierauf *c* an

Handhabe so weit auf, dass der heruntergehende Knopf *m* mit kommt, so wird die $- E$. von *c* in diese unterste Platte gezo $+ E$. an der unteren Fläche der Zinkplatte gebunden. Die *c* Zinkplatte und die darauf liegende Kupferplatte können dahe holte Verbindung des Knopfes *n* mit der Oberfläche von *c* eine nehmen, und diese kann, wie vorher, wieder auf die beiden u übertragen werden u. s. f., bis nach dem Abheben der Platte l starker Ausschlag der Pendel erfolgt.

341. Die Fähigkeit eines Paares ungleichartiger S sie sich in Berührung befinden, die ihnen entzogen immer wieder zu erzeugen, beweist eine fortdauernd selseitige Einwirkung. Sie hindert, ähnlich wie ein nes Leitungsvermögen, den Rücktritt beider ausgescl sigkeiten zu einander. Zwischen guten Leitern ist Hinderniss der Wiedervereinigung denkbar. Das l Wiedervereinigung oder die wechselseitige Anziel her mit der electricisch erregenden Ursache, mit der electromotorischen Kraft im Gleichgewichte st

Sind beide Principe in solcher Menge vorhande Gleichgewichte zu entsprechen, so hört die Erregt auf der einen oder andern Seite Electricität abgeleit führt, so ist das Gleichgewicht gestört. Im ersten Ausscheidung beider Flüssigkeiten, bis der Verlust er electricische Anhäufung über diese Gränze hinaus ks stattfinden. Wird mehr Electricität zugeführt, so

nach den gewöhnlichen Regeln des electricischen Gleichgewichtes über die Oberfläche beider Körper. Das Erregerpaar hört nicht auf, für alle, von Aussen zugeleitete Electricität sich wie gewöhnlicher Leiter zu verhalten.

Jedes System von zweien oder auch mehreren einander electrisch erregenden Leitern nennt man einen Electromotor.

342. Man denke sich einen Electromotor etwa aus Zink und Kupfer gebildet. Die erregende Kraft wirkt mit solcher Schnelligkeit, dass der Augenblick der Berührung für die sinnliche Wahrnehmung zugleich auch derjenige der Herstellung des Gleichgewichtes ist.

Es werde Electricität von Aussen zugeführt, z. B. $+ E.$, gleichmäßig auf welcher Seite; sie muss sich über die Flächen beider Körper ausbreiten. Die Dichtigkeit der freien $+ E.$ des Zinks nimmt ab, die freie $- E.$ des Kupfers wird zum Theile, oder vielleicht ganz gesättigt. Ist letzteres der Fall und die Zuleitung währt fort, so sammelt sich auch auf dem Kupfer $+ E.$ an. Aber unter Fortsetzung unausgesetzter Fortdauer der electromotorischen Kraft muss zwischen der Dichtigkeit der $+ E.$ des Zinks und der $- E.$ des Kupfers stets ein Unterschied bleiben, und dieser Unterschied muss der Grösse der electromotorischen Kraft proportional seyn, da er nach den Regeln wechselseitiger electricischer Bindung (§18), der ganzen an der Berührungsstelle ausgeschiedenen, und so lange die Berührung währt, im gebundenen Zustande verharrenden Electricitätsmenge proportional ist.

Zuführung von $+ E.$ ist dasselbe wie Ableitung von $- E.$ Denn wir uns jetzt das Kupferende des Paares in Verbindung mit einem Ableiter. Die freie $- E.$ vermindert sich, die freie $+ E.$ nimmt zu, bis zuletzt alle freie $- E.$ des Kupfers verschwunden sind und dafür die $+ E.$ des Zinks eine der Grösse der electromotorischen Thätigkeit entsprechende Dichte angenommen hat. Von dem Augenblicke an tritt keine weitere Aenderung ein, so lange das Kupfer mit der Erde in Berührung bleiben mag, weil die freie $+ E.$ des Zinks in Folge des Widerstandes der electromotorischen Kraft, in der Richtung des Kupfers nicht entweichen kann. Ein eben so grosses Uebergewicht an freier $- E.$ würde an der Kupferseite erzeugen müssen, wenn man diese isolirte, gegen das Zink mit einem Ableiter, z. B. mit der Collectorplatte oder Condensators verbände.

Die Bedingungen der Ladung des Condensators mittelst eines Erregerpaares, sind mit Rücksicht auf die vorstehenden Erläuterungen leicht zu übersehen. Man begreift, dass die Ladung vollständig seyn muss, wenn das Uebergewicht an freier Electricität

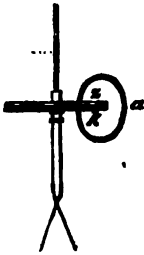
Collectorplatte diejenige Dichte besitzt, welche das freie Kupfer auf der damit in Verbindung stehenden Seite des Electromotors überhaupt annehmen kann, und welche, wie vorher ge-

zeigt worden ist, mit der Grösse der electromotischen Verhältnisse steht.

Die durch ein gegebenes Erregerpaarung des Condensators kann daher als Regel gelten für die Intensität der electromotischen Kraft.

343. Man findet, dass der Condensator eine Ladung annimmt, beide Bestandtheile des Erregerpaars nun an vielen oder auch nur an wenigen, ja an einzelnen Punkten berühren. Verbindet man z. B. des Zink-Kupfer-Condensators einen Augenblick

Fig. 123.



umgehobenen Zink- oder Kupferdraht so dass die erregende Kraft sich an einem Punkte äussern kann, so wie beim Abheben der Deckelplatte erhalten, wie wenn beide Metalle eine so grosse Anzahl Berührungspunkte die Stärke der Ladung hängt von der Erregung ab, die an jedem Berührungspunkte ist, nicht aber von der ganzen Menge der Electricität, welche grössten Theil den Zustand verharret. Die Anzahl

der Berührungspunkte kann also nur auf die Zeit, während der die Ladung bewerkstelligt, einen Einfluss äussern. Anders verhalten sich die Theile des Erregerpaars nach der Berührung voneinander, weil in diesem Falle alle ausgeschiedene Ladung als freie Electricität zum Vorschein kommt.

344. Auf die Stärke der Ladung, welche der Condensator aufnehmen kann, ist es ferner ganz ohne Einfluss, ob die Ladung nur in einfacher oder ob sie in derjenigen Form erhalten stehen, die durch Zusammenlöthen erhalten werden kann. Einfluss, ob beide Theile des Erregerpaars an einem oder andere, nur nicht beide zugleich, mit der Erde verbunden, andern Ableiter, ja mit der Erde selbst in Verbindung stehen. — Der Kupferdraht $z a k$ (Fig. 123), mit der Kupferplatte des Condensators verbunden, ist an a durchgeschnitten und der obere Abschnitt der untere mit der andern Hand gefasst. Die Ladung bei z erregte — E. (des Kupfers) ist in die Erde abzufließen; die Ladung des Condensators kann folglich, ausschliesslich der Kraft der an der Zinkfläche angesammelte Ladung. Da gleichwohl die Stärke der Ladung der Verbindungsdraht bei a an einer Stelle sein würde, muss man schliessen, das

in der Zinkseite genau in dem Maasse zugenommen hat, der Kupferseite sich verminderte.

Die Ungleichheit im electrischen Zustande des Zink-Kupferwelche sich bei dem Zinke durch freie positive Electricität Dichtigkeit $+e$, bei dem Kupfer durch freie negative von der Dichtigkeit $-e'$ ausdrückt, nennt man den electrischen Unterschied (die electrische Differenz) des Erregenden in den vorhergehenden Paragraphen mitgetheilten geht hervor, dass: wie veränderlich die Werthe $-e'$, jeder derselben für sich betrachtet seyn ihre Differenz: $+e - (-e') = e + e'$ eine beständige Grösse behauptet.

Die Beständigkeit der electrischen Differenz beweist eine ununterbrochene Fortdauer der electromotorischen Kraft, so lange die währt.

Allgemeinen $e + e' = 2d$. Man berühre die Kupferseite des electrischen Paares mit dem Finger; alle freie $-E$ wird dadurch abgeleitet; gleich 0 , e verwandelt sich in $2d$. Diess ist also die grösste Dichtigkeit das freie Fluidum auf der einen oder andern Seite erhalten kann. Die gleichseitige Erregung müssen stets gleiche absolute Mengen $+E$ geschieden werden. Sind daher beide Körper von ganz gleichem Volumen (z. B. Kugeln von gleichen Durchmesser) und gleich gut isolirt, so muss die Dichtigkeit der Berührung über die Oberfläche der Zinkkugel eben so gross seyn, wie über die Kupferkugel negative Electricität verbreiten, die Dichtigkeit auf jeder Seite ist d .

Wenn man mit der Kupferseite werde irgend ein Leiter von begränktem Volumen in Verbindung gebracht, etwa eine Kugel, deren Oberfläche sich zu der des Zinks wie $n : 1$ verhält. Die Dichtigkeit des freien Fluidums auf dem Kupfer wird dadurch von d auf x ; und in Folge neuer Erregung muss die Dichtigkeit des Fluidums auf dem Zinke um denselben Unterschied $d - x$ anwachsen; die Dichtigkeit ist nicht nur von dem Kupfer, sondern auch von dem Zinke, eine Dichtigkeit $d - x$ auf beiden gleichgrossen Körper und der Dichtigkeit $d - x$ entsprechende Electricitätsmenge, im Ganzen also $2(d - x)$ abgeleitet worden. Hieraus folgt ein anderer Leiter, nach Annahme von n facher Oberfläche, mit der Dichtigkeit x geladen worden. Es ist daher

$$2(d - x) = nx$$

$$x = \frac{2d}{n + 2}$$

z. B. eine Zinkkugel mit einer Kupferkugel von doppeltem Umfange in Verbindung gebracht, so ist $n = 1$, daher $x = \frac{2}{3}d$; die Dichtigkeit der $+E$ steigt folglich bis zu $\frac{2}{3}d$ steigen.

Der electrische Zustand, welchen ein Körper bei der Berührung annimmt, hängt wesentlich von der Beschaffenheit des Körpers womit er in Berührung gebracht wird; z. B. Kupfer mit negativ electrisch, Kupfer mit Platin positiv. Unter den Stoffen, deren Verhalten in dieser Beziehung genau bestimmt sich nachfolgende Ordnung heraus:

Sauerstoff,	Gold,
Schwefel,	Silber,
Kohlenstoff,	Kupfer,
Platin,	Blei,

Eisen,
Zinn,
Zink,

Wasserstoff,
Natrium,
Kalium.

In dieser Reihe, der sogenannten electrischen Spannungsreihe wird je der vorhergehende Körper durch Berührung irgend einem der nachfolgenden negativ electrisch. Also Sauerstoff mit irgend einem andern Körper berührt, gelangt stets in negativ electrischen Zustand; Kupfer wird positiv electrisch in Wasserstoff, mit Platin u. s. w., negativ wird es mit Blei, Eisen, Zinn

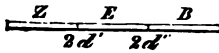
347. Die Ordnung nach welcher die einfachen Stoffe Spannungsreihe auf einander folgen, hat aber noch eine weitläufige Bedeutung. Man findet, dass zwischen zweien Körpern im Augenblicke der Berührung eine um so grössere electromotorische Wirkung geweckt wird, je weiter sie in der Reihe von einander stehen; z. B. Platin mit Silber wird negativ electrisch, aber wird es durch Kupfer, noch stärker durch Zink erregt u. s.

Werden mehrere Glieder der Spannungsreihe zu einer verbunden, wie Platin-Kupfer-Zink, so muss an jeder Uebergangsstelle von einem Stoffe zum andern, electrische Erregung eintreten. Die Resultante aller dieser Wirkungen ist aber stets gleich der Grösse der Erregung (der electrischen Differenz) der beiden äussersten Glieder, gerade so als befänden sie sich in unmittelbarer Berührung. Sind die äussersten Glieder gleichartig, z. B. Zink, so findet gar keine Wirkung statt.

Beispiel: Man verbinde beide Platten des Kupfer - Zink - Condensators mit einem Kupferdraht, und messe die Stärke der hierdurch erhaltenen Ladung. Verwechsle sodann den Kupferdraht mit irgend einem andern Metall, z. B. einem Blei- oder Eisen- oder Platindrahte, oder auch mit einem aus mehreren Metallen gebildeten Bogen. Die Grösse der Ladung wird sich nicht ändern.

An der Berührungsstelle von Zink und Eisen entsteht eine electrische Erregung, deren Stärke durch die Differenz $2d'$ ausgedrückt werden mag, wenn das Eisen in leitende Verbindung mit der Erde, so muss folglich die Dichtigkeit der freien $+E$ des Zinks bis zu $2d'$ anwachsen. Gesetzt, der Uebergang

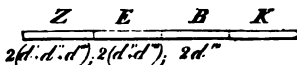
Fig. 124.



von Blei und Eisen sey $2d''$, so muss freie $+E$ des Zinks eine Dichtigkeit $2d''$ sich über die Oberfläche des Zinks, wie über einen gleichartigen Leiter

ausbreiten. Durch den Widerstand $2d'$ zwischen Zink und Eisen kann dieser Uebergang nicht aufgehalten werden, weil der Widerstand electromotorische Kraft $2d'$ bereits mit dem Bestreben der ausgeschiedenen Flüssigkeiten des Zinks und Eisens, sich wieder zu vereinigen im Gleichgewicht steht (341). Auf dem Zink muss sich daher freie $+E$ von der Dichtigkeit $(d' + d'')$ ansammeln. Steht das Blei wieder mit Kupfer und dieses an

Fig. 125.



Erde in Verbindung (Fig. 125) so bilden sich an der Berührungsstelle der beiden Metalle die electrische Differenz $2d'''$, die freie $+E$ von der Dichtigkeit $2d'''$ ungehindert über Blei, Eisen und Zink hergestelltem Gleichgewichte müssen

diese drei Metalle mit freier positiver Electricität behaftet seyn, und zwar

auf dem Zinke die Dichtigkeit $2 (d' + d'' + d''')$; auf dem Eisen die Dichtigkeit $2 (d'' + d''')$; auf dem Blei die Dichtigkeit $2 d'''$; nur auf dem Kupfer ist gar keine freie Electricität. — Nun findet man, dass wenn das Zinkende dieser zusammengesetzten Metallkette mit der Zinkplatte des Condensators, das Kupferende mit der Kupferplatte des Condensators verbunden wird, die Wirkung, von der eines einfachen Zink- oder Kupferbogens nicht im geringsten verschieden ist; man muss hieraus schliessen, dass die Summe der Erregungen des Zinks mit Eisen, des Eisens mit Blei, des Bleis mit Kupfer, an Grösse gleich ist der Erregung $(2 d')$ des Zinks mit Kupfer; und im Allgemeinen: dass die Stärke der Erregung zweier Glieder der Spannungsreihe, gleich ist der Summe der Erregungen aller Zwischenglieder.

Wird dem Kupferende der Metallkette, die mit Zink beginnt, ein nicht isolirter Zinkstreifen angereiht, so entbindet sich negative Electricität bis zu der Dichtigkeit $2 d' = 2 (d' + d'' + d''')$ an der Berührungsstelle des Kupfers und verbreitet sich von hier aus ungehindert über alle Kettenglieder. Auf dem vordersten Zink verschwindet daher alle freie Electricität. Das Eisen erhält — E. von der Dichtigkeit $2 d'$; das Blei — E. von der Dichtigkeit $2 (d' + d'')$; das Kupfer — E. von der Dichtigkeit $2 d'$; die electricische Differenz der beiden äussersten Glieder ist folglich 0.

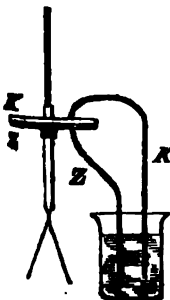
Auf ähnliche Weise erklärt es sich warum Platin oder Kohle und überhaupt ein Körper, der in der Spannungsreihe dem Sauerstoff näher steht als Kupfer und Zink, zwischen diesen beiden Metallen eingeschaltet, ihre electricische Differenz nicht verändern kann.

In welcher Ordnung mithin verschiedene Glieder der Spannungsreihe aneinandergerethet werden mögen, ihre electricische Differenz wird immer derjenigen der beiden Ende-Glieder bei unmittelbarer Berührung entsprechen. An der Berührungsstelle von Sauerstoff und Kalium muss folglich die grösste electricische Erregung entstehen, welche durch Körper die eine Stellung in der Spannungsreihe behaupten, überhaupt erzielt werden kann.

348. Die electricische Spannungsreihe gilt zwar vorzugsweise für die chemisch einfachen Stoffe, indessen kennt man auch mehrere zusammengesetzte Körper, die eine feste Stellung in derselben einnehmen, insbesondere unter den Oxyden und Schwefelmetallen; z. B. Zinnoxid, Eisenoxyd, Braunstein, Schwefelkies, Schwefelblei u. a. m. sind in diesem Falle. Man findet, dass die Metalle durch Aufnahme von Sauerstoff oder Schwefel hinsichtlich ihres electricischen Verhaltens dem negativen oder Sauerstoffende der Spannungsreihe näher rücken. Z. B. Braunstein nimmt seine Stellung zwischen Platin und Kohlenstoff.

349. Die Mehrzahl der zusammengesetzten Körper, zumal im

Fig. 126.



flüssigen Zustande, wenn schon sie bei der Berührung mit Metallen electricisch erregt werden, lassen sich nicht in die Spannungsreihe einführen.

Man tauche einen Kupferstreifen neben einem Zinkstreifen in gewöhnliches Wasser, doch so, dass sie sich nicht berühren können. Das obere Ende des ersteren werde sodann mit der Kupferplatte, das obere Ende des andern mit der Zinkplatte des Condensators verbunden. Wenn nun das Wasser eine feste Stellung in der Spannungsreihe einnähme, so müsste eine Ladung erfolgen, wie bei der unmittelbaren Verbindung

beider Condensatorplatten durch einen Kupferdraht. E. gerade der entgegengesetzte Fall ein; die Zinkplatte wi die Kupferplatte positiv geladen.

Da beide Metalle bei diesem Versuche in keiner unmittelbare standen, so folgt, dass die erhaltene Ladung das zusammengesetzt der electricischen Einwirkung des Kupfers und Zinks auf das Wass Auflösung, Salzlösungen, Säuren verhalten sich qualitativ ganz der menschliche Körper, wenn er die Verbindung beider Conde vermittelt, Holz, wenn es Feuchtigkeit genug enthält, um die Electen, lufttrocknes Papier und viele andere Körper sind in diesem F

Durch feinere electrometrische Untersuchungen hat man gefun Zink bei der Berührung mit den genannten Stoffen stets — E. auftr wird durch Wasser und manche Salzlösungen ebenfalls negativ el viel weniger stark als das Zink. Bei der Berührung mit andern, dünnter Salpetersäure, wird es positiv. Platin erregt, wie es schein und Salzlösungen negativ electricisch, während es selbst, und zw Grade als das Kupfer, positiv wird.

350. Ein Condensator aus zwei gleichartigen Platte zwei Kupferplatten bestehend, kann, wenn er durch ein Körpern, die sämtlich eine feste Stellung in der Span einnehmen, geschlossen wird, keine electricische Ladung Bewerkstelligt man aber die Verbindung beider Platten du Wasser, Zink, wie in Fig. 126 (vorausgesetzt, dass n Collectorplatte statt Zink, Kupfer genommen hat), so stärkere Ladung erhalten, als Kupfer und Zink allein hervorbringen können.

Der Grund ist, weil die von der Einwirkung des W

Fig. 127.



stamende — E. des Zinks (Fig. ungehindert über das mit dem Zi dene Kupfer verbreiten kann, w + E. des Wassers eben so unge

das damit in Berührung stehende Kupfer überströmt. Stärke der Erregung des Wassers durch beide Metalle der Differenz 2δ , die des Zinks mit Kupfer der Differ muss sich an beiden Enden der Kette, ungeachtet sie artigem Stoffe (in unserem Beispiele aus Kupfer) bei electricischer Unterschied von der Grösse $2(d + \delta)$ Wäre z. B. das eine Kupfer in leitende Verbindung mi gesetzt, so würde sich auf der Oberfläche des andern tricität von der Dichtigkeit $2(d + \delta)$ ansammeln.

351. Diese freie Electricität verbreitet sich mit derselbigkeit und bis zur Grenze derselben Dichtigkeit über je guten Leiter, welcher sich dem einen oder andern K anschliesst. Werden daher mehrere electromotorische Sy das Fig. 127, in gleicher Ordnung an einander gereihe eine Ende mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt die freie Electricität des ersten Systems auf das zwei folgenden über, die freie Electricität des zweiten System dritte und alle folgenden u. s. f. Nach eingetretenem

wichtszustande muss sich folglich am äussersten isolirten Ende der Kette freie Electricität in einem Grade der Verdichtung angehäuft haben, welcher zur Anzahl verbundener electromotorischer Systeme in geradem Verhältnisse steht. Es soyn z. B. 10 auf einander folgende gleichartige Systeme, so beträgt die electriche Differenz der beiden Endpuncte 10mal 2 ($d + \delta$). Der Grad electriccher Verdichtung, welcher mittelst einer auf diese Weise zusammengesetzten electricchen Kette erhalten werden kann, ist, wie man sieht, ohne Grenzen und hängt nur von der Anzahl mit einander verbundener Glieder ab.

352. Die zusammengesetzte electriche Kette wurde anfänglich fast nur in Form einer Säule aufgebaut, indem man eine Anzahl Zink-Kupferplatten, je das eine Paar von dem andern durch eine mit Flüssigkeit (Wasser, Salzlösung, verdünnte Säure) getränkte Papp- oder Filzscheibe getrennt, auf einander folgen liess. Zink und Kupfer waren der Bequemlichkeit wegen gewöhnlich zusammengelöthet.

Man hat seitdem noch mannigfaltige andere Formen der Zusammenstellung für bequem oder nützlich gehalten. Der Name electriche Säule ist indessen, ohne Rücksicht auf die Form, für jede Art zusammengesetzter electriccher Ketten geblieben.

Die beiden Endpuncte einer Säule nennt man ihre Pole, und zwar das Ende, an welchem positive Electricität abgeleitet werden kann, den positiven Pol (auch wohl Zinkpol, weil nach dieser Seite hin gewöhnlich eine Zinkplatte den Schluss der Säule bildet, das andere Ende, welches das negative Fluidum liefert, den negativen Pol oder Kupferpol.

353. Die electriche Säule ist ein Behälter für beide Electricitäten und liefert die eine wie die andere in mannichfaltigen Abstufungen der Dichtigkeit und, so lange ihre Wirksamkeit anhält, in fast unerschöpflicher Menge. Als Mittel, das Verhalten der Säule im Gleichgewichtszustande zu studiren, eignet sich vorzugsweise die sogenannte trockne Säule.

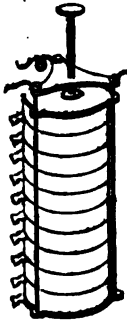
Sie kann auf folgende Weise verfertigt werden: Blätter von unächtem Gold- und Silberpapier werden mit der Papierseite zusammengeheftet und aus den so erhaltenen Tafeln, die also auf der einen Seite mit einem dünnen Ueberzuge an Zinn, auf der andern mit einem dünnen Ueberzuge von Kupfer versehen sind, Scheiben von beliebigem, z. B. von zwei Zoll, Durchmesser ausgeschnitten. Eine grosse Anzahl, 1000 — 2000, solcher Scheiben im lufttrocknen Zustande, je die Zinnseite der einen auf die Kupferseite der andern aufeinandergeschichtet und zwischen zweien etwas grösseren Metallplatten mittelst Seidenschnüren zusammengehalten, bilden eine trockne Säule. Die Wirksamkeit dieser Geräthschaft gewinnt nichts durch starkes Zusammenpressen der Scheiben. Wesentlich ist es aber, dass Metallfolie und Papier, so wie die

zusammengehefteten Papierseiten sich überall aufröhren.

Man sieht leicht, dass bei dieser Säule das Papier der feuchten Schicht ersetzen soll, auch ist die Wirkungselben von ganz ähnlicher Art, wie jene (340). Da je Papier ein unvollkommener Leiter ist, als Wasser und Lösungen, so wird die von der trocknen Säule abgeleitete vergleichungsweise langsamer wieder ersetzt.

354. Eine trockne Säule (Fig. 128) an welcher

Fig. 128. hundertsten Doppelscheibe eine Zunge (tallpapiers) hervorsteht, werde auf das (Pl. III. Fig. 3.) z. B. den positiven Pol stellt. Man berühre die zweitunterste Z Finger; die hundert ersten Scheiben bilden gleichsam eine kleine Säule für sich, (Ende leitend mit dem Electrometer, deren mit Erde in Verbindung steht. Jenes emp Electricität aus einer Quelle, worin die hundertfachen Beträge der erregenden einzelnen aus Kupfer, Zinn, Papier, Kt ten Electromotors verdichtet ist. Ma Grösse des Ausschlags der Goldblättchen



die dritte Zunge (die also die Gränze einer Säule 1 dert Scheiben bezeichnet), dann die vierte, die fünfte hierdurch erfolgenden Ablenkungen der Electromete den der doppelten, dreifachen, vierfachen electricische u. s. w. entsprechen.

Die Dichtigkeitszunahmen der Electricität stehen d so wie es die Theorie verlangt (351), im geraden Ve der Anzahl gleichartiger Elemente, woraus die Säule 1 setzt ist.

Wird der negative Pol dauernd berührt, so zeigt positiven die grösste electricische Anhäufung, welche Kraft der Säule bewirkt werden kann. Electricität v Dichtigkeit theilt sich jedem Leiter mit, der mit diesen bindung gebracht wird, vorausgesetzt nur, dass der selben nicht von unbegrenzter Grösse ist. An allen ü ten der Säule findet sich ebenfalls nur positive Electric Dichtigkeit nimmt gegen den negativen Pol hin stu und an diesem Pole selbst, da er mit der Erde commu keine freie Electricität. Dreht man die Säule herum, mehr der negative Pol auf der Electrometerplatte ru man den positiven Pol, so erfolgt ein eben so stark wie vorher, aber jetzt durch angehäuftenegative Elec Dichtigkeit, ganz wie vorher, in arithmetischer Folg andere Ende hin sich vermindert. Hieraus geht herv

g eines Pols, nicht bloss von diesem, sondern von je-
n Elemente der Säule, eine der ganzen electricischen
selben entsprechende Menge von freier Electricität
orden ist. Diese Differenz, oder die ihr entsprechende
as electricischen Fluidums sey $2 D$.

hre die Mitte der Säule. An dieser Stelle sinkt dadurch
it von D auf 0 herab. Zugleich findet man, dass das
des einen Poles um die Hälfte, nämlich von der Dich-
is zu D vermindert worden ist, während an dem an-
a welchem sich vorher keine freie Electricität vorfand)
namige Fluidum ebenfalls mit der Dichtigkeit D zum
ommt. Jedem Elemente der Säule ist folglich, durch die
erührung des mittelsten Elementes, freie Electricität
tigkeit D entzogen worden.

he Weise lehrt der Versuch, dass durch die Berührung
andern Punctes der Säule, nicht nur dem betreffenden,
leich jedem andern Elemente, freie Electricität von der
rungsstelle herrschenden Dichte entführt wird.

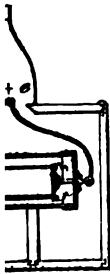
in die Säule und setzt dann einen isolirten Leiter von
Umfange mit irgend einem Elemente derselben in Ver-
geht eine Menge von Electricität darauf über, von der
ob die ganze Säule mit Electricität von derselben Dich-
an der Berührungsstelle, wäre behaftet gewesen.

Eigenschaften der Säule sind nothwendige Folgen des schon
betrachteten Verhaltens eines einzelnen electricischen Paares. Es
tigkeit der freien Electricität an irgend einem Puncte der Säule;
der Berührung mit einem Körper, dessen electricische Capacität
eränderte Dichtigkeit an dieser Stelle, so ist, wenn die electricische
Säule selbst mit r bezeichnet wird: $(u - u') r = u' R$.

$$\frac{u r}{R + r}$$

$R = r$, so entweicht von jedem Elemente der Säule eine der Dich-
rechende Electricitätsmenge.

s Bohnberger'sche Electroscop. Die trockne
Säule bildet den wesentlichsten Bestand-
theil einer sehr empfindlichen electroscopischen
Vorrichtung, welche nach dem Na-
men ihres Erfinders; das Bohnberger'sche Electroscop
genannt wird. Fig. 129 zeigt dieses Instrument in der Ge-
stalt, welche demselben gegenwärtig nach
Fechners Vorschrift gegeben wird (Pogg.
Ann. Bd. XXXI. S. 225). Eine horizontal lie-
gende trockne Säule aus 800 — 1000 Dop-
pelscheiben von unächtem Gold- und Silber-
papier, jede ungefähr 2 Zoll im Durchmesser
haltend, gebildet, ist in einem gefirniss-



Glascylinder eingeschlossen und dadurch isolirt. Beide sind durch Messing-Kappen luftdicht geschlossen. Di stehen mit den Polen der Säule in leitender Verbindu Aussenflächen derselben sind dicke, an Gelenken auf bewegliche Drähte befestigt, mittelst welcher die El den kleinen Scheiben $+e$ und $-e$ geleitet wird, die Gelenken hängen und dadurch verschiedene Stellung so wie auch beliebig nahe zu einander gerückt wer Die Säule sitzt in einem Kasten von Holz, aus welo oberen Enden der Drähte nebst den Scheibchen durch ei Oeffnung isolirt hervorgehen. Die eine dieser kleinen begreiflicher Weise stets mit positiver, die andere ste tiver Electricität geladen. Zwischen beiden hängt ein G von wenigstens 3 Zoll Länge und nicht mehr als $\frac{1}{2}$. Es steht mit einer auf der Glasglocke, ganz so wie bei troncopen, isolirt aufsitzenden Metallplatte in leitendem hange.

Die gleichzeitige und gleich starke Einwirkung bei Säule auf das Goldblättchen, gestattet keine Vertheilun lichen Electricitäten desselben. Es schwebt daher, s keine Electricität von Aussen zufließt, in der Mitte zu den Scheibchen. So wie man aber der oberen Metallp ringste Menge Electricität mittheilt, wird es von dem gen Pole abgestossen, von dem ungleichnamigen ang

Eine Bewegung nach dem $-$ Pole beweist also die von freier $+E.$, eine Bewegung nach dem $+$ Pole die von freier $-E.$ in dem Goldblättchen.

Das Bohnenberger'sche Electroscop, auf die beschriebene We besitzt einen vordem nicht gekannten Grad der Empfindlichkeit. I theils von der geringen Breite des Goldblättchens ab, welches Electricität sich doch vorzugsweise an den Kanten anhäuft, be verringertem Gewichte, kaum weniger davon aufnimmt, als ein mal breiteres Blättchen; theils aber auch von der Dicke der tr Der Theorie nach sollten zwar zwei Säulen, aus Doppelscheiben v Grösse zusammengesetzt, wenn diese nur von gleichartiger Besc der Zahl nach gleich sind, an den Polen eine ganz gleiche electr kelt besitzen und diese folglich auch auf die Scheibchen $+e$ Electroscops übertragen. Allein da fortwährend ein Theil des st an beiden Endpunkten durch die Luft entführt und der Wiederer schlecht leitende Papiermasse einer gewissen, wenn auch gering so kommt es, dass bei Anwendung einer dickeren Säule, die Elec hervorstehenden Enden der Drähte das Maximum ihrer Dichtig behauptet.

Schraubt man eine reine, glatt polirte Kupferplatte von 3 Zoll auf dieses Instrument und bedeckt sie mit einer ähnlichen Zinkplat das Abheben der letzteren eine sehr starke Ablenkung des Goldbl so leicht überzeugt man sich durch den Versuch, dass die Stärke d mit der Grösse der Berührungsfächen (wagerechtes Abheben im setzt) zunimmt.

Holz, Papier, Glas oder irgend ein anderer Körper mit gen Oberfläche vor einer auf das Electroscop geschraubten Metallpla

Zinkplatte, ohne Reibung abgehoben, wird in der Regel einen deutlichen Ausschlag verursachen, wobei das Metall gewöhnlich negativ electricisch wird.

Um mittelst des Bohnberger'schen Electroscoops die Einwirkung eines Metalls auf eine Flüssigkeit zu prüfen, bedient man sich eines Condensators, dessen Collectorplatte aus dem betreffenden Metalle verfertigt ist; als Deckelplatte dient eine möglichst dünne, geschliffene Glasscheibe, auf welcher die Flüssigkeit entweder unmittelbar ausgebreitet wird, oder die man mit durch die Flüssigkeit benetztem Löschpapier bedeckt. Die Verbindung wird dann wie gewöhnlich durch einen Metalldraht hergestellt.

356. Obschon der Grad electricischer Verdichtung, der durch Zusammensetzung einer genügenden Anzahl Erregerpaare erzielt werden kann, theoretisch betrachtet ohne Grenzen ist, so würde doch, um mittelst einer Säule Electricität von der Dichte zu gewinnen, wie man sie z. B. auf dem Conductor der Maschine erhält, eine ausserordentlich grosse Anzahl Paare erforderlich seyn. In den Polen der meisten Säulen, die verfertigt werden, zeigt sich daher eine Electricität von vergleichungsweise sehr geringer Spannung. Bei den trocknen Säulen, da sie keinen grossen Raum einnehmen und ihre Wirksamkeit lange Zeit (unter günstigen Verhältnissen viele Jahre hindurch) anhält, lässt sich die Aufeinander-schichtung sehr vieler Paare am leichtesten bewerkstelligen.

Durch Errichtung von Säulen, aus 8 — 10 tausend Paaren bestehend, hat man es dahin gebracht, dass auf die gleichzeitig bei den Polen genäherten Hände ein Strom kleiner Funken überging.

Mit Hilfe eines electricischen Verstärkungsapparates (Franklin'sche Tafel; Condensator) kann man indessen auch die Electricität kleinerer Säulen bis zum Ueberspringen eines lebhaften Funkens verdichten; und da die von der Säule abgeleitete Electricität sich mit Schnelligkeit immer wieder ersetzt, so lassen sich solche Versuche oft hinter einander wiederholen.

357. Electricische Ketten, aus Metallen und Flüssigkeiten zusammengesetzt, können ohne grosse Umstände nicht sehr viele Glieder enthalten. Die freie Electricität an ihren Polen äussert aus diesem Grunde in der Regel (unmittelbar) keine sichtbare Wirkung auf das Goldblattelectrometer. Um das statische Verhalten einer Säule zu prüfen, lässt sich daher der Condensator nicht anwenden.

Die Figur 130 zeigt eine kleine zusammengesetzte Kette, welche

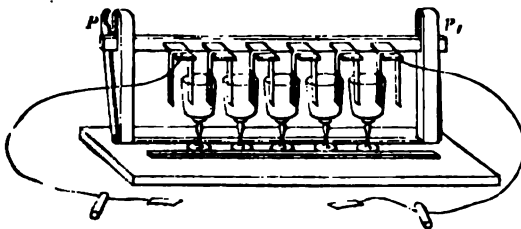


Fig. 130.

so eingerichtet ist, dass mittelst Leitungsdrähten j derselben für sich oder auch mehrere oder alle Glieder mit dem Condensator verbunden werden können. Säm samengelöthete Zink- und Kupferstreifen hängen auf henden Zungen einer Latte PP' , die zwischen Einschnitte ler P und P' auf und nieder beweglich ist. Die Metalle l diene Weise gleichzeitig in die Flüssigkeiten eingetaucht zeitig wieder herausgehoben werden; eine Anordnung, w halb nothwendig ist, weil nasse Säulen (aus Gründen, der Folge erklärt werden können) nur kurze Zeit in v samkeit bleiben. Je ein Kupferstreifen mit dem Zinks folgenden Paaros tauchen in die Flüssigkeit desselben non, wodurch die Ordnung: Zink, Kupfer, Flüssigkeit, Z hergestellt wird. Die Electricität an den Polen dieser Säü mit Bequemlichkeit aus nicht mehr als 20 — 30 Glieder kann, ist so schwach, dass das Holz im lufttrocknen Z vollkommenen Nichtleiter dafür angesehen werden kann

Wird der Condensator nach einander durch ein, zwe mehr Paaro geladen, so findet man, was sich bei der Säule schon durch die unmittelbare Einwirkung auf das ter gezeigt hat, dass die Ladungen der Anzahl der Pa arional sind, und dass also die electricische Differenz von ei num andern sich stufenweise vergrößert.

Es ist bei diesen Versuchen ganz gleichgültig, ob die dräfte beide oder ob nur einer derselben isolirt zu dem C geführt wird. Man sieht hieraus, dass die electricische Di gnanen Kette, gleich wie die eines einzelnen Gliedes eine beständige Grösse ist.

Wird irgend ein Glied der Kette in verkehrter Ordn gehalten, d. h. in der Reihe: Kupfer, Zink, Flüssigkeit, Zi zu ist die electromotorische Thätigkeit desselben derj übrigen Theils der Kette entgegengesetzt, und hebt fol Theil davon auf. Z. B. eine Säule von 20 Paaren, w eine verkehrt eingesetzt ist, besitzt die electricische Diff um 18 Paaren.

Die electricische Kraft der Säule ändert sich begreifli auch mit der Natur der Stoffe, woraus sie gebildet ist. man z. B. das Kupfer mit Plat: oder besser noch mit vortannert sich unter sonst gleichen Verhältnissen die Differenz, weil diese Körper in der Spannungsreihe wei Kupfer von dem Zink entfernt liegen.

Die Hanchaffenden der Flüssigkeit ist nicht wenig clutung, weil verschiedene Flüssigkeiten auf die ein Metalle eine sehr ungleiche electricische Einwirkung äus den Metalle wird von Wasser in geringem Grade negativ dünnen Schwefelsäure oder, und mehr noch von Salj

s Zink wird negativ bei der Berührung mit Wasser einer Kette, nach der Ordnung: Zink, Platin, Wasserangestellt, ist folglich die Einwirkung zwischen derjenigen der übrigen Stoffe entgegengesetzt. Aber das Wasser mit Säure, so addirt sich ihre Thätigkeit auf das Platin zu den an den übrigen stfindenden Erregungen. Die electricische Differenz zeigen.

Össe der in Berührung stehenden Letter hat nicht Einfluss auf die Stärke der bewegenden Kraft einer Kette an ihren Polen hervortretende electricische Differtärke der Erregung an jeder Kontaktstelle hängt von der Zahl Berührungspuncte, sondern lediglich von der Art der in Berührung stehenden Stoffe ab (343). Berührungspuncte vermehren sich aber die Ueberladung das erregte electricische Fluidum; wenn schlechte Leiterigkeiten, Bestandtheile einer electricischen Kette über die Flächengröße gleichwohl einen wesentlichen Einfluss auf die Schnelligkeit, womit die entladene Säule wieder annimmt. Man begreift hiernach, dass die Mengen von Electricität mittelst einer electricischen Kette setzen zu können, es nothwendig wird, Metallkette (Zink und Kupferstreifen) von bedeutendem Umfange, aber in die Flüssigkeit einzutauchen, ungeachtet das Electrometer nicht im geringsten dadurch beeinflusst kann. Mannigfaltig veränderte Formen, die man der electricischen Säule gegeben hat, bezweckten die entwickelten Electricitäten, aus dem Raum einen möglich erleichterten Abfluss zu gewinnen. Die electricische Spannung an den Endpuncten selbst der Säulen, die man bis jetzt erbaut hat, ist so gering, dass die messbare Luftschicht den Uebergang beider Electrometer vollkommen unterbricht.

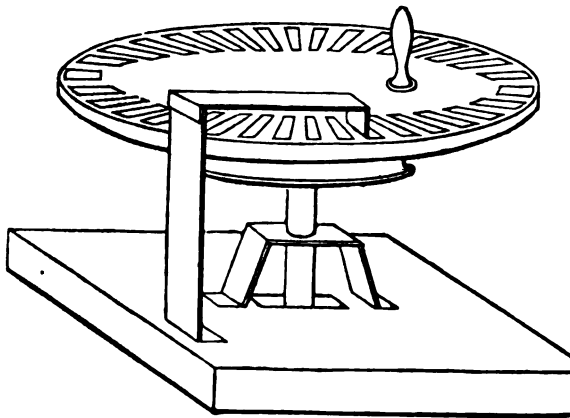
Bei der Verbindung oder der Trennung beider Pole zeigt sich wohl die Erscheinung eines Funkens. Die Ueberschlags- oder Trennungs-Funken bei einer kleinen Paaren bestehenden Säule sichtbar zu machen, ist nöthig, den Uebergang der Electricität von einem Ende durch gut leitende Spitzen zu vermitteln.

Man bringt auf einer Kupferplatte des einen Pols eine Vertiefung anzubringen, in der man einen dicken Tropfen Quecksilber aufnehmen zu können. In der Mitte dünner, am andern Pole angelötheter Kupfer- oder Platin- und wieder herausgezogen. Jede solche Schließung oder Trennung bewirkt einen Funken. Es ist gut, die Bodenfläche des Klebmittels etwas salpetersaurem Quecksilber zu amalgamiren, um den Uebergang zwischen Kupfer und Quecksilber leichter zu machen und die Electricität zu erleichtern.

Viele und grosse Paare erzeugen, oftmals hinter einen von so lebhaftem Glanze, dass sie mitten in der Flamme sichtbar bleiben. Uebrigens hat man gefunden, dass recht grosse Paare, d. h. recht grosse, in die Flüssigkeit senkrecht Metallstreifen, das Auftreten starker Funken weniger günstigen, als eine grössere Anzahl von kleinem Umfang zeigt hieraus, dass der Schliessungs- und Trennungs-Finger eine stark gespannte Electricität als vielmehr re Electricitätsmengen erfordert.

359. Wenn man beide Pole gleichzeitig mit den (dass wasser befeuchteten) Fingern berührt, empfindet man Augenblicke einen eigenthümlichen Nervenreiz, welcher Einfluss einer sehr starken Säule bewirkt, der Empfindung schwachen electrischen Schlags ganz ähnlich ist. Dies aber nur momentan, auch bei fortdauernder Berührung. Wiederholung des Versuchs, so oft und so schnell hintereinander es geschehen mag, erneuert die Empfindung; und diese in schneller Folge auf einander lassen sich bis zur Unmöglichkeit steigern. Dabei bemerkt man in den Theilen des Körpers welche als Verbindungsglied beider Pole der Kette dienen zitternde Bewegung oder ein fortdauerndes Zusammen- und Wiederausdehnen der Muskeln. Zur Anstellung dieser Versuche eignet sich vorzugsweise das von Neeff ersonnene Instrument (Pogg. Ann. 36, S. 352.)

Eine horizontale Kupferscheibe (Fig. 131) $1\frac{1}{2}$ Linie dick $6\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser.
Fig. 131.



Das Instrument, dreht sich um eine vertikale Axe, welche, ebenfalls von Kupfer, besteht aus einem Stücke. Ein Messingbügel, der auf einem Messingfüsschen festigt ist, hält sie in ihrer Richtung. In der Mitte hat dieses Brett eine Vertiefung, mit Kupfer ausgefüttert, worin die konisch zugespitzte Axe eingesteckt wird, und in welche etwas Quecksilber gegossen wird, um mittelst des ei-

Leitungsdrahtes eine innige metallische Verbindung des einen Pols einer Säule mit der horizontalen Scheibe zu bewerkstelligen. Am Rande der Scheibe sind 6 Oefnungen angebracht, von 3 — 4 $\frac{1}{2}$ Lin. Breite und in der Richtung der Radien 10 Lin. Länge; sie sind sämmtlich mit hartem, glattem Holze ausgefüllt und zwischen sich nur schmale metallische Uebergänge. Seitwärts befindet sich ein 1 Linien breiter, $\frac{1}{2}$ Linie dicker Kupferstreifen, dessen eines Ende auf dem Fusse von erforderlicher Haltbarkeit befestigt ist, während das andere, abgeogene Ende auf dem Rande der Scheibe, so wie die Figur zeigt, ruht. Mit diesem Streifen wird der andere Pol der Säule verbunden. — Man sieht, dass in Folge dieser Anordnung bei jeder Umdrehung der Scheibe die electrische Kette 36mal geschlossen und wieder geöffnet wird. Da nun in jeder Sekunde leicht mehrere Umdrehungen stattfinden können, so kann man es dahin bringen, diese Abwechslungen äusserst schnell auf einander folgen zu lassen. Jede Schliessung oder Trennung bewirkt den Uebergang eines Funkens, aber bei Anwendung starker Säulen und bei schneller Umdrehung ein ununterbrochener Strom von glänzendem Lichte zwischen der Scheibe und dem Entladungstreifen überzutreten scheint.

Um mit diesem Apparat den electricischen Nervenreiz zu verstärken, fülle man zwei Becher von Metall mit schwach gesäuertem oder Salzwasser, und verbinde sie durch einen vermittelst eines Leitungsdrahtes mit dem Blitzrade, den andern mit dem Pole einer electricischen Säule, deren anderes Ende mit dem andern Ausgange des Blitzrades in Verbindung steht. Man taucht dann die Finger gleich in beide Becher, während die Scheibe gedreht wird. Man hat es ganz seiner Gewalt, durch Vergrösserung und Vermehrung der electricischen Paare, wie, bis zu einer gewissen Gränze hin, durch Beschleunigung der Umdrehung, den Effect beliebig zu verstärken.

360. Auf die empfindlicheren Theile des Organismus äussert schon die mittelst der gewöhnlichen electroscopischen Werkzeuge gar nicht wahrnehmbare, von der electromotorischen Thätigkeit eines einzigen Erregerpaares abstammende Electricität einen unverkennbaren und oft sogar sehr auffallenden Einfluss.

Man lege die breite Fläche eines silbernen Löffels auf die Zunge und berühre mit der Zungenspitze ein Stück Zink, dessen anderes Ende mit dem Stiele des Löffels in Berührung steht. Man wird so gleich einen eigenthümlichen, stechenden, säuerlichen Geschmack finden, der nicht zur Natur des Zinks gehört, denn er verändert, so wie man die Berührung beider Metalle unterbricht. Derselbe Geschmack wird empfunden, wenn man das Zinkende des Erregerpaares mit der Zungenspitze berührt, das Silberende durch Salzwasser befeuchteten Fingern ergreift.

Auch die Berührung des Zinks mit der Zunge ist zur Hervorbringung dieser Erscheinung nicht wesentlich. Man giesse Wasser in eine kleine Schale von Zink und berühre die Oberfläche der Flüssigkeit mit der Zunge, während man den mit feuchten Fingern gehaltenen Löffel an die Aussenwand der Schale hält; sogleich wird scharfer, brennender Geschmack entstehen.

Man halte ein Stück reines Zink zwischen die Augenlieder. So in dasselbe mit einem Stücke Silber, das mit feuchten Fingern gehalten wird, berührt, oder die Verbindung wieder trennt, bemerkt man vor den festgeschlossenen Augen einen Lichtblitz.

Man lege auf die Mitte einer ziemlich grossen Zinkscheibe ein

nen Thaler und auf diesen einen Blutegel. So wie dieser, griffe herunterzukriechen, mit dem Zink in Berührung kam dadurch die Kette schliesst, wird er convulsivisch zurück

Aehnliche Muskelkontraktionen hat man bei vielen Thier vorgebracht; bei einzelnen Gliedmassen sogar noch eine Zeit nach dem Tode. Kaltblütige Thiere, insbesondere Frösche halten ihre electricische Erregbarkeit noch Stunden lang nach Tode. Froschschenkel, bei welchen die Nerven blossgelegt zeigen gegen jede electricische Einwirkung einen so hohen Grad der Empfindlichkeit, dass man sie früher als das geeignetste Mittel zur Wahrnehmung electromotorischer Thätigkeit benutzte.

Der electricische Nervenreiz gab die erste Veranlassung zur Entdeckung der Berührungselectricität. Diese Entdeckung ist im Jahre 1790 von *Alcibiades Galvani*, Professor der Anatomie zu Bologna, ganz zufällig gemacht worden. Er bemerkte nämlich, dass präparirte Froschschenkel, die mittelst kupfernen Ketten an einem eisernen Gitter aufgehängt waren, in Zuckungen geriethen, sobald sie mit dem Eisen in Berührung kamen; und da er schon früher die Berührung gemacht hatte, dass ähnliche Zuckungen oder Muskelzusammenziehungen durch die Maschinenelectricität beim Durchgange durch die Nerven eines getödteten Frosches bewirkt wurden, so fiel er sogleich auf die Idee auch bei der neuen Erscheinung, die sich ihm darbot, Electricität im Spiel zu lassen. Nach seiner Vorstellung bildete aber der thierische Organismus die Quelle dieser Electricität; er dachte sich Nerven und Muskeln, durch Belegungen einer Leidner Flasche mit entgegengesetzten Electricitäten, deren Uebergang zu einander durch den metallischen Leiter vermittelt wurde. Galvani's Entdeckung verbreitete sich sehr schnell, und die von ihm pothetisch angenommene thierische Electricität wurde Galvanische oder Galvanische Electricität genannt. Daher die Ausdrücke: Galvanischer Nervenreiz; Galvanische Kette, für einfache electricische Kette; Galvanische Sirenen für Electrisiren mittelst einer einfachen oder auch einer zusammengesetzten Kette. — Diese Bezeichnungen blieben, wenn schon Galvani's Hypothese schon im Jahre 1797 von *Alexander Volta* in Pavia auf's Bestimmteste widerlegt wurde, indem er bewies, dass zur Hervorbringung galvanischer Erscheinungen eine Combination von wenigstens drei verschiedenartigen Leitern in sich selbst zurückkehrenden Kette verbundenen Leitern erforderlich ist. Zwei davon oder auch nur einer dürfen Metalle seyn; das dritte ein präparirter Froschschenkel, bildet den dritten. Volta zeigte dem Volta'schen Strohhalmelectrometer und des von ihm erfundenen Condensators Berührungstellen verschiedenartiger Leiter die eigentliche Quelle der Electricität sind, welche Galvani irrigerweise in dem thierischen Organismus und in welcher er so, wie viele seiner Anhänger, das eigentliche Princip der Electricität entdeckt zu haben hofften. Zwei Körper, an deren Contact die electricische Zersetzungsvorgänge vorgeht, nannte Volta einen Electromotor, und er wies nach, dass irgend zwei verschiedenartige Leiter, in Berührung gebracht, die Rolle eines Electromotors übernehmen, so wie dass die wechselseitige Einwirkung erst mit der Trennung wieder aufhört. Er entdeckte, dass die Körper hinsichtlich ihrer Erregungsfähigkeit sich gleichwohl wesentlich verschiedene Weisen verhalten, und theilte demnach die Leiter in zwei Klassen. Als Leiter der ersten Klasse bezeichnete er Metalle, Kohle, Graphit, Braunstein, kurz die in der Spannungsreihe ersten Körper. Zur zweiten Klasse gehören alle übrigen, namentlich die Flüssigkeiten. Er erklärte, warum Leiter der ersten Ordnung, zu einem Ringe, mit einander verbunden, sich selbst zurücklaufend in Kette verbunden, ihre Wirkungen nicht zerstören, und bewies, dass die Möglichkeit, einen Kreislauf, d. h. wechselseitigen Uebergang der erregten Electricitäten zu einander in

den Kette hervorzubringen, wesentlich an die Eigenschaft der flüssigen knüpft ist, keine Stellung in der Spannungsreihe einzunehmen. Die Ansicht in dieses Verhalten führte Volta bald auf den Gedanken, durch Stellung mehrerer Paare eine verstärkte Electricität zu gewinnen; stand der zusammengesetzte electromotorische Apparat, welcher nach dem seines Erfinders Volta'sche Säule oder Batterie genannt wurde. Schon hielt sich übrigens nicht ausschliesslich an die Form der Säule, brauchte auch die Fig. 130 dargestellte Abänderung seines Apparatgenannten Becherapparat.

Die Säulen wurden einige Jahre später, wie es scheint, zuerst von Ritter Deluc und noch später Zamboni haben von Neuem die Aufmerksamkeit gelenkt, indem sie dieselben zur Hin- und Herbewegung eines magnetischen beiden Polen benutzten. (Gehl. phys. Wört. B. 8. S. 121.) Die Säule wird daher sehr häufig nach dem einen oder andern, insbesondere dem letzteren dieser beiden Physiker benannt.

Wegenden Princip in der electriche Kette gab Volta den Namen electromotorische Kraft, und dachte sich, dass durch diese eigenthümlichkeit, welche im Augenblicke der Berührung zweier Körper erwacht, das natürliche electriche Fluidum an den Contactstellen zersetzt, und die beiden Bestandtheile desselben nach entgegengesetzten Richtungen zu bewegen würden. Er schrieb also der electromotorischen Kraft die Fähigkeit, jene Eigenschaft der entgegengesetzten Electricitäten, welche man erst gerade als die bezeichnendste für ihre Natur erkannt hat, nämlich die gegenseitige Anziehung und Bindung, (vorübergehend wenigstens) in eine gleichseitige Abstoßung zu verwandeln.

Widerspruch in der Volta'schen Theorie hat Fechner gelöst, indem er behauptete, dass die an den Contactstellen ausgeschiedenen Electricitäten, so, wie es die bekannten Gesetze des electriche Gleichgewichts zeigen, sich binden, und dass eben nur aus diesem Grunde ein kleiner Rest freier beweglicher Electricität stets vorhanden seyn muss (340). Die electromotorische Kraft verlor hierdurch den Schein des Räthselhaften und durfte fortan betrachtet werden als eine Aeusserung der gegenseitigen Molekularkräfte und ihres Bestrebens nach Ausgleichung. Ein Gesichtspuncte aufgefasst, ist die electriche Differenz nichts anderes als ein sinnlich wahrnehmbarer Ausdruck des Grades der natürlichen Vereinigung zweier Stoffe, gleichwie sich eben diese Verschiedenheit in der wechselseitigen chemischen Anziehung zu erkennen gibt.

Die von Volta begründete und nach ihm hauptsächlich von Berzelius, Voltaff in Kiel und zuletzt von Fechner weiter ausgebildete Theorie der electriche Kette wird die Contacttheorie genannt. Sie umfasst nicht bloss die Erscheinungen, sondern auch die statischen oder Spannungs-Zustand der electriche Kette, wenn sie auch die Grundsätze feststellt, nach welchen die an den Contactstellen ausgeschiedenen Electricitäten sich fortzupflanzen und in der Kette zu ihrem Ursprunge zurückzukehren vermögen, so gibt sie doch keine befriedigende Auskunft über die Bedingungen der Fortdauer der Contactregungen, noch lässt sie irgend Wirkungen derselben voraussehen. Worte: diese Theorie unterrichtet nur von der Gegenwart einer Contactkraft und bestimmt den Sitz derselben, verfolgt sie aber nicht in der Wirkungseffekten.

Ein Vorwurf ist der Contacttheorie schon frühzeitig gemacht worden, als man bemerkte, dass ihre Wirksamkeit abnimmt und dass diese Abnahme eine Folge der chemischen Beschaffenheit ihrer Glieder unzertrennlich ist. Da überdiess die Wiederholungen der Volta'schen Grundversuche nicht gleich günstigen Erfolg hatten, so fanden es manche Physiker bezügelte die allgemeine Richtigkeit derselben oder doch die Regelmässigkeit ihrer

Wiederkehr zu vorläufigen Erscheinungen, deren Abhängigkeit veränderlichen Naturgesetze Volta mit ungewöhnlichem Scharfsinn mathematischer Consequenz nachgewiesen hatte, glaubte man zufälligen äusseren Ursachen, z. B. dem Einflusse feuchter Luft des Zinks, im Allgemeinen einem chemischen Verbindungsprocesse zu dürfen. Und um diese Ansichten geltend zu machen, scheu nicht, die aller gezwungensten Erklärungen, den einfachen Lehrsätzen gegenüberzustellen (Handwörterb. der Ch. v. L. u. F. So entstand die sogenannte Oxydations-Theorie. Sie hat als Grundsatz hervor, dass dem electricen Vertheilungs-Zustande chemischer Verbindungsprocess, z. B. die Auflösung des einen Metalls ausgehen müsse, während im Sinne der Contact-Theorie gerade das Umgekehrte stattfindet. Fabroni ist der Gründer dieser chemisch-electricen Hypothese, welche nachher hauptsächlich von Ritter, Wollastin und Rive näher erörtert und vertheidigt worden ist.

Das Widersprechende in beiden Ansichten gab im Laufe des dieses Jahrhunderts die Veranlassung zu sehr lebhaften und fast unerbittlichen unter den Physikern. Gegenwärtig hat die Oxydationstheorie sich auch vielleicht noch nicht ganz aufgegeben seyn sollte, doch Theil ihrer Anhänger verloren.

Wesentlich verschieden von der Oxydations-Theorie sind die electricen Theorien Davy's und in der neuesten Zeit welche die Fortdauer der electricen Thätigkeit der galvanischen Zelle der Zersetzung des flüssigen Leiters abhängig machen, dabei jede dieser chemischen Prozesse ein Streben, denselben hervorzu- rufen als Zustand electricer Vertheilung vorgehen müsse. Wir werden diese Theorie, welche, in ihren Hauptpunkten richtig aufgefasst und als eine Erweiterung der Contact-Theorie gelten kann, in der Folge näher besprechen.

361. Electro-chemische Theorie. Nachdem man hatte, dass die electriche Differenz zweier verschiedener Stoffe nur von ihrer chemischen Natur und in keinem andern ihrem Umfange oder der Anzahl Berührungspunkte abhängt, dass sie unveränderlich fort dauert, so lange keiner der berührenden Stoffe eine chemische Veränderung erleidet, die Folgerung nahe, dass selbst die kleinsten Theile der Stoffe, dass ihre Atome, neben einander gelagert, in entgegen gesetzten electricen Zustände treten müssen, und dass die electriche Differenz der beiden Endpunkte oder Pole eines zusammen gesetzten Atoms (einer chemischen Verbindung) mit der chemischen Verschiedenheit der Bestandtheile in einer festen Beziehung in der Art, dass die Kenntniss der Grösse des electricen Unterschiedes zweier Stoffe, welche, wie bekannt (340), ein bestimmtes Potential ist, zugleich den Grad ihrer wechselseitigen Spannung wofür man vordem kein Maass hatte, angebe. Die electricen Reihen richtig zusammengestellt, gewährt eine Uebersicht der electricen Beziehungen der Grundstoffe zu einander, die sich als eine Classification derselben nach der Ordnung der Spannung darstellt, daher zugleich das natürlichste chemische System.

Diese Vorstellungen enthalten die Basis der electricen Theorie, welche man gegenwärtig als den

ng der chemischen Verbindungs-Weisen der Körper be-

dieser Theorie fließt als unmittelbare Folge, dass die Körper nur zu zwei verbinden, oder, wenn Verbindungen aus zwei Bestandtheilen vorkommen (wie ja auch Electroaus aus mehr als zwei Gliedern bestehen können), dass sie Verbindungen einer höhern Ordnung sind.

eine Bestandtheil eines zusammengesetzten Körpers im Gleichgewichtszustande ist fortdauernd electropositiv, der andere umgekehrt electronegativ. Wenn gleichwohl unter gewöhnlichen Umständen keine Spur weder des einen noch des andern Principes in einem zusammengesetzten Leiter wahrnehmbar ist, so ist diess aus dem Umstande, weil in der Masse desselben die Elemente nicht so geordnet sind, als eine wirksame electrische Kette es fordert.

Der Bestandtheil einer binären Verbindung sich im electropositiven und welcher im electronegativen Zustande befindet, erstreckt sich aus der Spannungsreihe. Ersteren nennt man das electropositive Element, auch das electropositive Radical, das electronegative Element oder electronegative Radical; z. B. im Wasser bildet der Sauerstoff das electropositive Element, der Wasserstoff das electronegative Element.

Ausdrücke electropositiver und electronegativer werden aber häufig auch in einer allgemeineren Bedeutung genommen, indem man den ersteren solchen Stoffen beilegt, die in der Spannungsreihe und also auch in der Art ihrer Verwandtschaft dem Kalium (d. h. dem positiven Ende) näher stehen, als Natrium, Barium, Zink, Eisen, Kupfer u. s. w., den zweiten solchen, welche in ihrem Verhalten mehr mit dem Sauerstoff übereinstimmen, wie Schwefel, Chlor, Arsenik u. s. w.

Von der Electricität im Bewegungszustande.

2. Die Entladung eines mit Electricität behafteten Körpers durch die Leitung eines Leiters beruht auf der Eigenschaft des letzteren, die Fortpflanzung der electrischen Wirksamkeit durch seine Leitung zu gestatten, oder, wenn man von der Vorstellung ausgeht, dass diese Wirksamkeit einem eigenthümlichen, gewichtslosen Fluidum (294) anhafte, auf der Fähigkeit desselben, nämlich des electrischen Fluidums, sich dem Leiter entlang bewegen zu können. Bei der Electricität im Zustande der Bewegung pflegt man den Namen des electrischen Stroms zu geben. Werden z. B. die beiden Conductoren der Reibungsmaschine, oder beide Belegungen einer Leyden'schen Flasche, oder die Pole der Säule durch einen guten Leiter verbunden, so entsteht ein electrischer Strom, wodurch sich das natürliche electrische Gleichgewicht wieder herstellt.

Die Ausgleichung beider entgegengesetzten Zustände gientlich immer die Folge des Uebertritts zweier Ströme zu der, eines positiven und eines negativen electricischen Stroms ist es jetzt völlig ausgemacht, dass beide sich gleichzeitig in gung setzen, so dass man annehmen kann, sie werden sich ter Voraussetzung gleich guter Leitung von beiden Seiten) Mitte des Wegs begegnen. Jedoch eben aus dem Grunde, w Herstellung des natürlichen Zustandes das gleichzeitige Au beider Ströme stets als nothwendige Bedingung voraussetz nügt es in der Regel, nur den einen besonders hervorzu Unter Richtung des electricischen Stroms versteht man her vorzugsweise die Richtung, nach welcher sich die po Electricität bewegt.

363. Die unmittelbare Ursache, die bewegende Kraft des schen Stroms ist die Repulsivkraft gleichartiger electricischer l welche bekanntlich mit dem Quadrate der Dichtigkeit zunim

Auf einem isolirten, mit Electricität behafteten Conducto sert sich die Repulsivkraft als Druck gegen die nicht leitend gebung, als Spannung. Wird der Leitungswiderstand an i einer Stelle genügend vermindert oder ganz entfernt, so e die Entladung.

Sind zwei ungleichnamig geladene Conductoren einander g übergestellt, so findet zwischen den beiden electricischen Fl keiten eine wechselseitige Anziehung statt; da aber die hie an den gegenüberliegenden Stellen beider Leiter vermehrt rische Anhäufung und Spannung sich mit der wechselse Anziehung ins Gleichgewicht setzen muss, so bleibt der den Leitungswiderstand ausgeübte Druck das Maass des l gangsbestrebens beider Flüssigkeiten zu einander.

Bei einer geladenen Batterie hat man die Repulsivkraft des electricischen Uebergewichtes auf der einen oder andern Belegu unmittelbare Ursache des Ausgleichungsstroms zu betrachten. aus folgt, dass die Entladung, mit so grosser Schnelligkeit a mer vor sich gehen mag, nur eine successive seyn kann. I beginnenden Entladung vermindert sich die Spannung. Da Schlagweite, d. h. die grösste Entfernung, zu welcher der bei einer gegebenen Ladung überspringt, gleichwohl, wenü für den grössten Theil der angesammelten Electricitätsmeng verändert bleibt, erklärt sich aus den bekannten Erfahrungssä dass die Luft durch den electricischen Funken ausgedehnt wird dass die Schlagweite unter sonst gleichen Verhältnissen durch dünnung der Luft sich vergrössert.

Für den successiven Abfluss der Electricität einer Batterie bei der Ent hat Riess einen experimentellen Beweis gegeben. Zuerst zeigte er, da Schlagweite, z. B. der Abstand zweier Kugeln, zwischen welchen der überspringen musste, der Dichtigkeit der angesammelten Electricitäts proportional, von der Beschaffenheit des Schliessungsbogens aber, voraus

Es ein Leiter sey, ganz unabhängig ist. Es war z. B. ohne Einfluss darter Bogen ununterbrochen metallisch war, oder ob man eine mit reinem angefüllte Röhre eingeschlossen hatte. Gleichwohl fiel die Electricitäts- weiche durch die Entladung bei unveränderter Schlagweite zernichtet in ersten Falle beträchtlich grösser aus, als in dem letzteren; d. h. es letzteren Falle eine grössere Menge Electricität in der Flasche zurück. man bedurfte folglich mehr Zeit, um durch das Wasser, als durch die ganze Leitung zu gehen. (Pogg. Ann. Bd. 53, S. 1.)

Das zweckmässige Verfahren, welches Riess angewendete, die in einer Batterie sich anhäufende Electricität ihrer Menge nach zu messen, beruht auf dem Satz: dass von der äusseren Belegung genau eben so viel Fluidum fortgehen muss, als ungleichnamiges gebunden wird. Die äussere Belegung seiner Batterie auf eine gut isolirende Unterlage, und verband sie mittelst einer dicken metallischen

Fig. 132.



Leitung mit der innern Belegung einer Maassflasche, oder nach ihrem Erfinder sogenannten Lane'schen Flasche (d. h. mit einer Verstärkungsflasche, Fig. 132, deren beide Metall-Bekleidungen mittelst des Drahtes *a b* und des auf dem gebogenen Glasstabe *g f* ruhenden und in einer Hülse verschlebbaren Leiters *c b* zu beliebiger Nähe gebracht werden können, so dass schon bei mässiger electricischer Anhäufung die Entladung erfolgen muss). Die äussere Belegung der Maassflasche stand mit grösseren Metallmassen in ununterbrochenem metallischem Zusammenhange, während die Scheibe der Maschine gleichförmig gedreht und die erregte Electricität der inneren Belegung der Batterie continüirlich, d. h. ohne Funken-Ueberschlag zugeführt die Quantität der angehäuften Electricität erhielt man aus der Anzahl Ueberschläge der Maassflasche.

Die Zahl, dividirt durch die Grösse der belegten Glasfläche, oder auch durch die Zahl gleich grosser Flaschen der Batterie, gab die Dichtigkeit der Anhäufung. (Pogg. Ann. Bd. 40, S. 321).

Die Geschwindigkeit des Entladungsstroms der Batterie ist ausserordentlich gross und in der That nur mit derjenigen des Lichtes zu vergleichen. Nach Wheatstone durchheilt die Electricität einen Kupferdraht mit der Geschwindigkeit von 288000 deutschen Meilen oder 62500 deutschen Meilen in der Sekunde. — Ueberragt selbst unter den besten Leitern eine grosse Vortheilhaftigkeit hinsichtlich der Zeit, welche sie bedürfen, um bestimmte Mengen Electricität durchzulassen. Um z. B. dieselbe Menge Electricität, welche durch einen Kupferdraht ging, in derselben Zeit durch einen Platin- oder Bleidraht zu führen, muss derselbe eine gleiche Dicke viel kürzer oder bei gleicher Länge weit dünner seyn.

Zu den Metallen gehören manche Schwefelverbindungen, insbesondere Schwefelkies, Schwefelblei, Kupferkies, Eisenoxyd, Zinnstein; ferner die Kohle, namentlich in Formals Graphit und Anthracit zu denjenigen Körpern, welche die Electricität am wenigsten aufhalten.

Wasser leitet im Vergleich zu den Metallen so schlecht, dass die electricische Entladung den Weg durch Meilen lange Me-

Alldrähte dem durch eine gleich dicke Wasserstreifenigen Zollen vorzieht. Durch Zusatz von Salzen kann man aber seine Leitfähigkeit sehr verbessern.

Schon Abbé Nollet, ein ausgezeichnete Physiker, der um 1700 lebte, hat beobachtet, dass der aus einer Kette vertheilte Schlag von 180 Personen, die sich zu einer Kette verbunden gleichzeitig empfunden wurde, so wie auch, dass die Electricität von einem zum andern ein Funke entstehen muss (Blitztafel), strecken, feuchter Boden, Drahtlängen von 6 — 12,000 Fuss Strom auf keine durch die gewöhnlichen Hülfsmittel der Zeitbare Weise aufhielten.

Wirkliche Messungen über die Geschwindigkeit der Electricität nur von Wheatstone mit günstigem Erfolge ausgeführt worden. Ann. Bd. 34, S. 464. Er bewies, dass der Entladungsstrom an den Enden und in der Mitte durchschnitten war, von beider Flasche gleichzeitig eintrat, während der Uebergangsfunkne schnittes gegen die beiden andern etwas zurückblieb. Die $\frac{1}{24000}$ einer Sekunde. Hiernach und unter Voraussetzung, dass Electricität das Licht des überspringenden Funkens nicht einer Sekunde verweilt. Wenn der Funke zwischen Unter oder zwischen Spitzen übergeht, besitzt er eine grössere nicht nur fähig, dasselbe wahrzunehmen, sondern auch **beleuchtet** werden, zu sehen und zu unterscheiden. Eine **bedeutlichen Empfindlichkeit des Auges** ist: dass Bilder, die mit möglichster Schnelligkeit gedreht werden, unter der trischen Funkens still zu stehen scheinen und in ihrer werden; schwingende Saiten scheinen in ihrer gebogen scheinen, stellen sich als eine Folge getrennter Tropfen, da alle dieser Bilder nur eine so kurze Zeit dauert, dass Bewegung sich befindenden Körper dabei nicht verändere.

Man hat oft versucht, die Leitfähigkeit der Metalle gleichen. Für die ungleiche Fähigkeit gleich langer von verschiedenen Metallen, den Entladungsstrom Riess (Pogg. Ann. Bd. 45, S. 20) folgende Zahlen, anderer Physiker über das Vermögen der Metalle, gas durchzulassen, zum Theil nahe übereinstimmen.

Silber	148,7
Kupfer	100,0
Gold	88,9
Cadmium	38,4
Messing	27,7
Palladium	18,2

Das Wasser, so gross an und für sich die Geschwindigkeit durchlässt, leitet doch Millionen mal so erweist sich aus folgendem Versuche In ein Wassplatten, jede von 100 Q. Zoll Fläche, in dem Abstan über eingetaucht und die eine mit der äusseren, d'ungung einer geladenen Leidner Flasche metallisch' dungsstrom zwischen beiden Platten durch das

Entladung die Hände in das Wasser, zwischen den Kupferstreifen. Ein grosser Theil des Schlags wird durch den Körper gehen. Dann das Wasserbecken und gebrauche als Schliessungsbogen einen Kupferdraht von 3 — 4 Fuss Länge und 0,1 Linie Durchmesser während der Entladung mit beiden Händen ergreift. Man wird doch nur eine geringe Empfindung der durchgehenden Electricität diesen Versuch noch belehrender zu machen, lasse man eine electrischer Entladungen, so wie sie das Blitzrad, in Verbindung mit Säule gewährt, durch das Wasser gehen. Man tauche die Hände beide gleich weit von den Metallstreifen ab, also beide Hände die Richtung des Stroms rechtwinklig durchkreuzt. Die Spur einer electrischen Einwirkung; so wie aber die Hände in benen Lage verrückt werden, empfindet man die Schläge, um so sich die eine Hand dem einen Streifen, die andere dem andern entgegenwärts wird die Einwirkung, wiewohl mit abnehmender Stärke, heraus hervorgeht, dass der Strom sich rechts und links von den Händen ausbreitet, folglich in der geraden Richtung nicht mit genügender Kraft geführt werden kann. Diese Versuche beweisen zugleich, dass Wasser ein besserer Leiter ist als das Wasser. — Durch Zusatz in das Wasser vermindert sich das Prickeln in den Fingern und bei grösserem Salzgehalte ganz. Die Leitfähigkeit des Wassers durch Aufnahme von Kochsalz vermehrt worden. Andere Salze verdünnte Säuren, zeigen ein ähnliches Verhalten.

Entladungsstrom der electrischen Säule, und überhaupt einer electrischen Kette, unterscheidet sich hinsichtlich seiner Wirkung auffallend von dem der electrischen Batterie. Die Säule verhält sich gleichsam wie eine Batterie, deren Ladungen in unendlichen Zeittheilen nach der Entladung sich immer wieder erneuern. Der Strom muss daher fortdauern, so lange bis irgend welche Hindernisse sich mit seiner ganzen Triebkraft ins Gleichgewicht setzen vermögen. In der offenen und isolirten galvanischen Kette äussert sich die ganze bewegende Kraft derselben als freie Electricität. Gesetzt, der eine Pol, z. B. der positive, komme mit der Erde in leitende Verbindung, so muss die positive Electricität entweichen; die Dichtigkeit der positiven Ladung verdoppelt sich aber, die Grösse der vorhandenen Triebkraft folglich relativ ungeändert. Der Grund, warum die positive Electricität ungeachtet der ableitenden Verbindung zur Erde zurückgehalten wird, ist der der Repulsivkraft gleiche Widerstand, welchen sie an den Ueberresten von einem Gliede der Kette zum andern erfährt. Der Grund ist nichts Anderes als die erregende oder electrische Kraft. Die Triebkraft des galvanischen Stroms ist an Grösse genau gleich der Summe sämtlicher in der Kette wirksamer electromotorischer Kräfte, die electrische Differenz als Maass gelten

Wenn die Kette vollkommen geschlossen würde, würden die erregten Ladungen durch den Schliessungsbogen ohne Aufenthalt zu einander fließen müssen. Die circulirenden Mengen müssten daher der Erregungsfähigkeit an den Contactstellen ent-

sprechen. Die Leitungswiderstände hindern diese freie Cirkul und bewirken, dass die Mengen der zu einander übergehende und sich wechselseitig aufhebenden Electricitäten weniger t gen, als in derselben Zeit erregt werden könnte. Aus diesem G zeigt sich auch in der geschlossenen Kette noch ableitbare, gespannte Electricität, welche sich z. B. durch einen zw Schliessungsbogen führen, oder auch auf dem Condensator au meln lässt. Ihre grösste Anhäufung und Spannung wird imm solchen Stellen gefunden, an welchen die grössten Widerst zu überwinden sind.

Wird z. B. eine aus guten Leitern gebildete Säule an eine liebigen Stelle durch einen schlecht leitenden Körper, etwa r reines Wasser, geschlossen, so behauptet die Electricität au das Wasser begränzenden Metallflächen ihre grösste Dichti und diese nimmt, ganz so wie in der offenen Kette, nach der hin, von Glied zu Glied stufenweise ab. Man sieht hieraus, alle Kettenglieder dazu beitragen, dem Widerstande an de vollkommenen Schlussstelle das Gleichgewicht zu halten. Die trische Spannung an den Polen der unvollständig geschloss Kette ist jedoch immer geringer als an denselben Puncten der nen Kette, woraus man folgern muss, dass ein Theil der Trieb welche jedes einzelne Glied bieten konnte, verwendet we musste, um die Widerstände in seinen eigenem Umfange au gleichen.

Die besten Leiter unter den Flüssigkeiten stehen doch de tallischen Leitern bei weitem nach. Es ist daher vorauszum was die Erfahrung bestätigt, dass der verfügbare Theil der eines jeden aus Metallen und Flüssigkeiten zusammenges Electromotors um so grösser seyn wird, je grösser der Quers des flüssigen Leiters ist und je mehr Uebergangspuncte vo tall zu Flüssigkeit vorhanden sind.

366. Der electriche Strom besitzt die merkwürdige Eigens den Körpern, welche er durchläuft, eine magnetische Kraft z theilen, die erst mit dem Aufhören des Stroms wieder verschwin

Man findet, dass leichtbewegliche Magnetnadeln, an deren ster Axe der Schliessungsdraht einer kräftigen galvanischen K vorübergeht, aus ihrer Ruhelage abgelenkt werden und erst r Unterbrechung des Stroms in dieselbe zurückkehren. Die Richt dieser Ablenkung ist verschieden, je nach der Lage der Sch ungsebene der Nadel gegen die Richtung des Stroms. Sie l durch folgende bildliche Vorstellung sogleich mit Leichtigkeit ausgesehen werden: „Der Beobachter denke sich in die Rich des Stroms versetzt, den Kopf vorwärts, die Füsse zurück Auge gegen die Magnetnadel gerichtet, so wird der positiv der Nadel aus seiner Ruhelage stets links abweichen.“

Man hänge z. B. zwei gleiche Magnetnadeln, etwa in 1

Abstand, über einander, und lasse zwischen beiden, gleichlaufend mit ihrer magnetischen Axe, einen dicken Kupferdraht durchgehen, der als Schliessungsbogen eines galvanischen Paares von ziemlich grossem Flächeninhalte der Platten dient. Bewegt sich nun der Strom in der Richtung von Süden nach Norden, so weicht der positive Pol der unteren Nadel westlich, der der oberen östlich ab; das Umgekehrte findet statt, wenn der Strom von Norden nach Süden geht. Eine horizontal stehende Nadel, die in der Ebne des magnetischen Meridians schwingt, dem Drahte von der Westseite genähert, hebt ihren positiven Pol, von der Ostseite genähert, senkt sie denselben.

In einem einzigen Falle, wenn nämlich die Richtung des Stroms diejenige der magnetischen Axe der Nadel rechtwinklig durchkreuzt, findet gar keine Ablenkung statt, wohl aber, je nachdem der von Westen nach Osten fließende Strom über oder unter der Nadel hergeht, eine Beschleunigung oder Verzögerung ihrer Oscillations-Geschwindigkeit.

Astatiche Nadeln, neben deren Axe der Strom hinläuft, stellen sich immer rechtwinklig auf die Richtung desselben.

Aus diesem Verhalten der magnetischen Kraft des Schliessungsbogens lässt sich die Folgerung ziehen, dass die Richtung ihrer Wirksamkeit den electricischen Strom in jedem beliebigen, winkelrecht durch seine Richtung geführten Querschnitte umkreist.

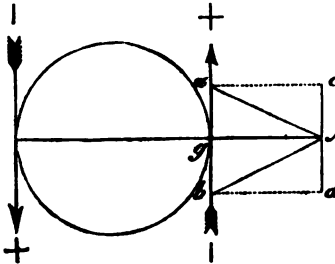
Man hat beobachtet, dass die Einwirkung auf einen Pol der Nadel, rings um den Strom herum, in gleichen Abständen von der Mitte desselben überall gleich gross ist, und dass sie im einfachen umgekehrten Verhältnisse, der Entfernung des Pols von der Mitte des Stroms, sich vermindert.

Man denke sich den Querschnitt $abca$ (Fig. 133) eines Leiters von einer

Anzahl sehr kleiner, immer mit ihren ungleichnamigen Polen an heter Magnete umgürtet, deren Abstände jedoch so gross sind, dass die Wirkungskreise der aufeinanderfolgenden ungleichnamigen Pole nicht aneinander fallen können, so müssen sich diese kleinen Magnete in beliebiger, durch die Mitte des Leiters gezogene gerade Linie x_3 in der Ebene von bedeutend vergrößerter Atmosphärenwirkung (291) in gesetzter Lage zusammensetzen.

Befindet sich nun in der Ebene des Querschnittes der Pol N (anderer Magnetes, z. B. der polare) eine Nadel, so wird derselbe in der Richtung a nach N abgestossen, in der Richtung b nach N eben so stark angezogen, da sie eine gleiche Wirkung haben, können sich jedoch nicht ergänzen, sondern ergänzen sich zu einer Wirkung, wodurch der Pol gleichlaufend mit dem Punkte g bewegt wird.

Fig. 134.



Diese Darstellung ist wohl die beste, die die Wirkungsweise der magnetischen Kraft des Stromes durch ein Bild zu veranschaulichen, aber nicht als eine Erklärung der eigentlichen Zusammenhänge zwischen Electricität mit der magnetischen Kraft, welche sie äussert, oder in den Leitern erzeugt, weissen man.

Bemerkenswerth ist es übrigens, dass der Schliessungsdraht, wenn er an seiner Oberfläche freie magnetische Kräfte zeigt, ganz anders verhalten muss, wenn jeder Querschnitt desselben von kleinen Magneten durchzogen ist, denn der Draht zwischen Eisenfeilspänen durchgeföhrt, umwickelt man denselben, und eine Nähnadel mehrmals quer über den Draht erhält Spuren von bleibendem Magnetismus.

Die magnetische Kraft des electricischen Stromes oder der Electricität ist im Jahr 1820 von Oerstedt in Kopenhagen entdeckt worden. Gewisse Einwirkungen der Electricität auf die Magnetnadel waren schon früher bemerkt worden; aber Niemand hat so bestimmten Zusammenhang zwischen den electricischen und magnetischen Kräften erkannt. Die Oerstedt'sche Entdeckung erregte daher im Jahre 1820 die Aufmerksamkeit und das Interesse der Physiker und wurde der Ausgangspunkt einer grossen Reihe der merkwürdigsten Entdeckungen in der Electricitätslehre und des Magnetismus.

367. Ein Leiter der Electricität, durch welchen der Strom fließt, wird nicht nur seiner ganzen Länge nach magnetisch, sondern äussert auch diese Kraft in jedem Querschnitte mit gleicher Stärke. Denn biegt man den Schliessungsdraht einer galvanischen Batterie um, so dass der zurückgehende Arm mit dem vorwärtsgangenden ganz gleichlaufend ist, und beide nur durch einen Funkenbogen getrennt sind, so zeigt er sich auf die genäherte Magnetnadel wirkungslos, weil die magnetischen Kräfte in beiden Armen des Drahtes ihrer Richtung nach entgegengesetzt sind und sich gegenseitig aufheben müssen.

Dieses Verhalten ändert sich nicht, wenn der Schliessungsdraht aus verschiedenenartigen Leitern zusammengesetzt ist, die magnetische Kraft des Stromes ist gänzlich unabhängig von der Natur des Stoffes, welchen er durchdringt.

Diese vorläufigen Mittheilungen über die magnetische Wirksamkeit der Electricität im Zustande der Bewegung werden genügen, um eine höchst wichtige Anwendung zu verstehen, die man davon gemacht hat, einestheils um die Anwesenheit electrischer Ströme sogleich mit Sicherheit zu erkennen, andertheils um ihre Stärke zu messen. Alle zu diesem Zweck ersonnenen Geräthchaften führen den gemeinschaftlichen Namen: Galvanometer.

Electromagnetische Messwerkzeuge; Galvanometer.

368. Der Multiplikator. Ein electricischer Strom, der in gerader Linie an einer Magnetnadel vorbeiläuft, wird auf diese in der Regel keine sehr starke Wirkung ausüben, weil nur wenige Theile desselben, nur wenige Stromelemente, in genügende Nähe der Polen der Nadel gelangen können. Die magnetische Wirksamkeit des Stroms lässt sich aber bedeutend verstärken, wenn man den Leitungsdraht um die Nadel, und zwar parallel mit der Ebene ihres Meridians in mehreren Windungen herumbiegt. Es ist leicht (366), dass alle in einer Windung gleichzeitig befindlichen Stromelemente auf einen innerhalb des Ringes befindlichen Magnetpol in gleichem Sinne wirken und dass sie sich folglich zu einer verstärkten Kraft zusammensetzen müssen, wodurch der Pol leicht gegen die Ebene des Ringes bewegt wird. Da ferner eine Windung für sich betrachtet und in genau gleicher Lage zu der Nadel gebracht, eine gleiche Wirkung auf dieselbe äussert, so sieht man ein, dass die ablenkende Kraft eines Stroms, von dessen Stärke an und für sich unverändert bleibt, gleichwohl zunimmt mit der Anzahl der Drahtwindungen, welche er durchläuft. Eine dergleichen Vorrichtung hat daher den Namen: electromagnetischer Multiplikator erhalten. Die Grösse der ablenkenden Kraft ist übrigens nicht genau ein Vielfaches der Anzahl der Windungen; weil sich nicht alle in gleichem Abstände von der Nadel befinden können.

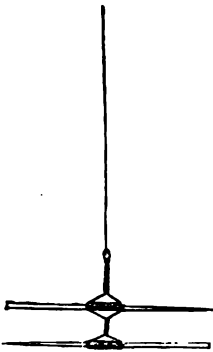
Der Multiplikator ist gleichzeitig von Poggendorff und Schweigger beschrieben worden.

Der (möglichst eisenfreie) Kupferdraht, welcher zu den Windungen verwendet werden soll, wird gewöhnlich mit Seide umspunnen, um die circulirende Electricität zu verhindern, seitwärts von einer zur andern der neben einander liegenden Windungen überzutreten. Nur die beiden Enden sind frei; sie tauchen in Quecksilber, jedes in ein besonderes Quecksilbernäpfchen, wo sie den Strom aufnehmen, oder werden direkt mit den Polen des electromotorischen Apparats verbunden. Den Windungen pflegt man die Gestalt eines länglichen Rechteckes zu geben, dessen Länge und Höhe eben die erforderlichen Dimensionen besitzen, den Bewegungen der Nadel einen hinreichenden Spielraum zu lassen. Es geht auf diese Weise den Strom der Nadel sehr nahe zu bringen und dadurch die Empfindlichkeit bedeutend zu steigern.

Fig. 135.



Fig. 136.



rücken zu müssen, hat man die Unterlage des Rahmens, worauf zu Träger der Nadel und die Glasglocke sitzt, beweglich gemacht, in die sie vermittelst eines Getriebes um eine feste, verticalstehende Achse werden kann. Die Enden des Multiplicatordrahtes sind an den beiden f und f' angelöthet; in letztere werden entsprechende, mit den Polen des motors verbundene Stifte eingeschoben, so oft das Instrument in Gebrauch gesetzt werden soll.

Nobili, ein italienischer Physiker, hat die Empfindlichkeit der Multiplicators, als eines Anzeigers electricischer Ströme dadurch bedeutend erhöht, dass er zwei gleich grosse und möglichst starke Magneten mit entgegengesetzt gerichteten Polen zusammenband. Die eine befindet sich zwischen den Windungen, die darüber, so dass der Strom auf beide in gleichem Sinne (3) fließen muss. Die obere dient zugleich als Zeiger. Es ist klar, d

Die Fig. 135 zeigt einen nach seinen Verhältnissen ausgeführten Multiplicator, in $\frac{1}{4}$ der natürlichen Grösse.

Eine magnetisirte Stahl-nadel, lang, schwingt in der Mitte eines Rahmens von Messing, von 16 Linien Länge und 23 Linien Höhe, um dessen stark gefirnissete Kanten in möglichst gleichlaufenden Windungen oder nach Erforderniss auch in mehreren über einander gewickelt ist. In der Mitte des Rahmens ist zwischen den Windungen eine Lücke gelassen, gerade von genügender Breite um die Nadel einlassen zu können. Die einzige 3, 5 Zoll lange Coconfaden umwickelte erhöhte Rinde des Rahmens ruhe auf einem weissen, lackirtem Papier überzogenen Schelbe, worauf sich die kreisförmige Scheibe befindet. Diese Scheibe wird auf dem Rahmen der Nadel und Zeiger eingeschoben. Am Ende an der dem Nullpunkte gegenüberliegenden Seite, mit einem vom Rande bis zum nächsten Einschnitte versehen.

Um das Instrument vor Staub zu schützen, wird eine Glasglocke darüber gedeckt, aus welcher der Schraubenkopf hervorragt, mittelst dessen der Aufhängepunkt des Fadens etwas gehoben oder gesenkt, oder auch, während des Transportes das Instrument ganz in Ruhe gesetzt werden kann.

Während des Gebrauchs ruht das Instrument auf einem festen, von irgend einer Erschütterung des Fussbodens unabhängigen und daher am besten an eine Mauer eingelassenen Träger. Die Achse werden der magnetischen Achse der Nadel parallel gerichtet; eine Stellung, die allemal eintritt, wenn der Zeiger auf den Nullpunkt der Skala einspielt. Um dem Zeiger diese Stellung mit Schärfe geben zu können, ohne das Instrument horizontal gerichtete Instrument öfters zu

Fig. 137.



solche Doppelnadel unter dem Einfluss des Erdmagnetismus allein, eine um so geringere Richtkraft besitzt, je geringer die Differenz der magnetischen Kräfte beider Nadeln und je genauer gleichlaufend ihre Axen gestellt sind. Wenn sie sich, so wie es meistens geschieht, in einem spitzen Winkel durchkreuzen, so nehmen sie, sobald sie ungefähr gleich stark magnetisirt sind, eine Stellung nahezu winkelrecht gegen den magnetischen Meridian (siehe Fig. 137).

Der Nadel den äussersten Grad der Empfindlichkeit zu geben, ein kräftiger Magnetstab in wagerechter Lage und in der Ebene der Meridians, aber mit verkehrten Polen, in passender Entfernung stellt. Die erdmagnetische Richtkraft kann auf diese Weise leicht noch so kleinen Werthe zurückgeführt werden.

Man ist durch diese Hülfsmittel in den Stand gesetzt, die geringsten elektrischen Ströme, aus welcher Quelle dieselben auch kommen mögen, zu entdecken.

Man ist einzusehen, dass die Grösse der Ablenkung einer Multiplizatornadel, ein gewisses Urtheil gestattet über die Stärke der inducirten Windungen thätigen magnetischen Kraft. Zu wirklichen Messungen dieser Stärke ist jedoch der Multiplizator unmittelbar ungeeignet, weil die Grösse des Ablenkungsbogens in keiner einfachen und durch theoretische Betrachtungen leicht im Voraus stimmenden Beziehung zur Grösse der ablenkenden Kraft steht.

Die Beziehung kann aber, wie in der Folge gezeigt werden soll, leicht bestimmt und dadurch der Multiplizator in ein wirkliches Messinstrument verwandelt werden.

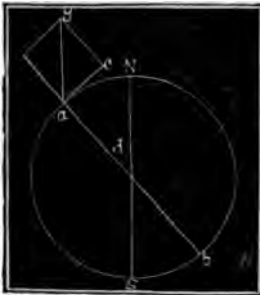
Um man die Empfindlichkeit dieses Instrumentes durch einen Versuch prüfen, so lege man das eine Drahtende mit einem Kupferstreifen, lege auf diesen ein mit Wasser befeuchtetes Löschpapier, und berühre die obere Fläche desselben mit dem abgestumpften Ende eines Stiftes von Zink, von 1—2 Linien Dicke, welcher am andern Ende des Multiplizatordrahtes befestigt ist. Die Nadel wird sich sogleich in Bewegung setzen und nach der Richtung derselben Strom anzeigen, der von dem Zink durch das Papier zum Kupfer geht. Um die erdmagnetische Richtkraft der Doppelnadel möglichst gering, der Multiplizator draht aber recht lang ist, so dass er viele, etwa 500 oder mehr Windungen bildet, so muss der Ablenkungsbogen 40—50 Grade und selbst mehr betragen. Ein Urtheil über den Grad der Vollkommenheit des astatischen Systems der Doppelnadel erhält man auch aus der Langsamkeit ihrer Schwingungen. Man im Besitze eines Multiplizators von dem bezeichneten Grade der Empfindlichkeit, so lässt sich damit sehr leicht zeigen, dass ein Strom gemeiner Reibmaschinen-Electricität, gleich der galvanischen, die Eigenschaft besitzt, die Induktionsdrähte magnetische Kräfte zu verleihen. Man verbinde das eine Ende des Multiplizators mit dem positiven, das andere mit dem negativen Pol einer Reibungs-Electrisirmaschine und setze sodann ihren Glaskörper rasch und gleichförmig anhaltende Bewegung. Es wird eine Abglenkung erfolgen und zwar im Sinne eines Stroms, der vom positiven Conductor zum negativen Draht geht. Der Winkel, welchen die Nadel beschreibt,

wird jedoch, selbst wenn man eine kräftige Maschine, im besten Gange führung hatte, der in dem vorhergehenden Versuche erhaltenen Ablenkung weitem nicht gleichkommen. Man erkennt hieraus, dass die Maschine gleichgültig der hohen Spannung, welche sie im Ruhezustand annehmen kann, unfähig ist, während ihres Uebergangs von einem Conductor zu einem anderen starke magnetische Wirkungen auszuüben. Wir werden in der Folge sehen, dass dies nicht von einer specifischen Verschiedenheit, sondern nur daher rührt, dass die durch den Reibungsprocess in jedem Augenblicke entwickelte freie Electricität, vergleichungsweise zu der in derselben Zeit in einer geschlossenen Kette erregten, sehr gering ist.

Auch die Luftpolarität im Bewegungszustande wirkt auf die Magnetnadel. Wird der in No. 336 beschriebene, für die Aufsammlung der Luftpolarität bestimmte Leiter mit dem einen Ende des Multiplicatordrahtes, die Ablenkungsstange mit dem andern Ende in Verbindung gesetzt, so weicht die Nadel von ihrer Ruhelage ab, so oft eine Gewitterwolke vorüberzieht, mehr oder weniger, je nach der Stärke der electricischen Anhäufung und bald im positiven, bald im negativen Sinne. (Pogg. Ann. 8. 336; 29. 283.)

369. Die Sinusbusssole. Jede Magnetnadel, durch welche Ursache aus ihrem Meridiane abgelenkt wird, wird durch den Erdmagnetismus wieder zurückgeführt, die Kraft der Zurückführung ist der Ablenkungswinkel proportional.

Fig. 138.



welche Ursache aus ihrem Meridiane abgelenkt wird, wird durch den Erdmagnetismus wieder zurückgeführt, die Kraft der Zurückführung ist der Ablenkungswinkel proportional. Es sey NS die Richtung des Meridians oder der Ruhelage der Nadel, ab ihre abgelenkte Stellung, α der Ablenkungswinkel, ag die Grösse der erdmagnetischen Kraft, so ist der Theil davon, durch welchen die Nadel zurückgeführt werden muss, $ac = ag \sin \alpha$.

Die magnetische Kraft eines Stromes, welcher den Multiplicatordraht durchläuft, wirkt auf die Pole einer Magnetnadel, die in der Ebene seiner Windungen aufgehängt ist, in einer Richtung senkrecht gegen die Ebene der Windungen. Die Abstoßung erreicht folglich ihren grössten Werth, wenn die magnetische Achse der Nadel selbst in dieser Ebene liegt, oder doch gleichlaufend mit ihr gestellt ist. Die Stärke der Abstoßung vermindert sich aber, wenn der Winkel zwischen der magnetischen Achse der Nadel und der Ebene der Windungen grösser ist, welchen die Nadel mit der Ebene bildet. Liessen sich die letztern bei jeder Lage, in welcher die Nadel übergeht, mit deren magnetischer Achse parallel stellen, wie es bei dem gewöhnlichen Multiplicator nur während der Uebergehung der Fall ist, so würde die ablenkende Kraft für eine und dieselbe Stromstärke nicht nur fortdauernd ihren grössten, sondern auch einen unveränderlichen Werth behaupten. Diese Bedingung kann erreicht werden, wenn der Rahmen des Multiplicators um den Mittelpunct des Theilkreises drehbar und dadurch drehbarkeit gegeben ist, den gestörten Parallelismus immer wieder herzustellen. Die Nadel kann in diesem Falle nicht eher zu einer Ablenkung kommen, als bis die richtende Kraft des Erdmagnetismus

stossenden Kraft des Stroms ins Gleichgewicht gegen ein so eingerichtetes Multiplicator gibt also der Ablenkungswinkels ein relatives Maass für die Kraft des Stroms. Daher der Name Sinusbussolen Pouillet, der Erfinder dieses Instrumentes, dem es hat.

Der beschriebenen Multiplicator in eine Sinusbussole, bedarf es nur eines unmittelbar über der Theilung verstellbaren Punctes, der während der Drehung und Theilkreises seine ursprüngliche Stellung beibehalten durch jeden Augenblick erkennen lässt, um die Windungen und Nadel aus dem magnetischen Meridian entfernt sind. Fehlt ein solcher fester Punct an dem Instrument, kann die Grösse des Ablenkungswinkels dadurch gemessen werden, dass man, nachdem die Windungen und Nadel zum Nullpunct der Scale eingestellt sind, den Strom unterbricht, die Nadel in die frühere Ruhelage, d. h. in diejenige Lage, in welcher die Drehung begonnen hatte, zurück-

bringt: kann jeder Multiplicator als Sinusbussole gebraucht werden. Man kann denselben auf eine horizontale oder vertikale Scheibe, z. B. auf den horizontalen Theilkreis eines Multiplicators stellen. Dabei ist es gar nicht erforderlich, dass die Drehung der Scheibe zusammenfällt mit der magnetischen Axe der Erde, oder dass die Ebene der Windungen oder dieser Windungen unter einem bestimmten Winkel nur ihre wechselseitigen Beziehungen, so oft ein Nullpunct einspielt, jedesmal genau dieselben sind. Die Messung des Ablenkungsbogens einer Multiplicator-Nadel nach einer Sinusbussole immer einige Zeit erfordert, so können damit nur Ströme von unveränderlicher Stärke gemessen werden. Sinusbussolen lassen sich aber sehr leicht mit den bei ununterbrochener Draht-Windungen erhaltenen Ausschlägen der Nadel verfahren wird es möglich, auch Ströme von kürzerer Dauer zu messen. Ich stellte sich z. B. bei unveränderter Lage der Windungen, dass die Ablenkung bei 21°, in einem dritten Versuche bei 31°. Als Sinusbussole verwendet man dem Einflusse derselben electricen Ströme erhielt man Ausschläge von 10°3', 23°55' und 43°37'; die magnetischen Kräfte, welche diese Ausschläge bewirkten, verhalten sich also wie sin. 10°3' : sin. 21° : sin. 43°37'.

Man kann man für jede unmittelbare Ablenkung der Nadel die Kraft bestimmen, und eine hiernach entworfne Tabelle (in der die Ablenkungen für jeden einzelnen Grad mit Hilfe einer nach den Ergebnissen gebildeten Curve oder durch Interpolation eingetragen sind) in der Folge, um die Stärke electricer Ströme aus den Ausschlägen des Multiplicators abzuleiten.

Man kann hieraus ein eben so einfaches als sicheres Mittel, jeden Multiplicator zu verwenden, d. h. seine Anzeigen untereinander vergleichbar zu machen. Ein Multiplicator mit astatischer oder Doppelnadel gilt jedoch nur mit der Einschränkung, dass für alle Versuche,

deren Ergebnisse aufeinander bezogen werden sollen, die Richtkraft tischen Systems unverändert geblieben ist, oder mit andern Worten electricischer Strom von bekannter Stärke, bei Beendigung der Verselben Ausschlag wie anfangs bewirkte. Zuweilen wird man finden, (nicht der Fall ist, d. h. dass die magnetische Intensität der Doppelaufe der Versuche sich geändert hat, besonders wenn sie dem Einwirkung starken Stroms ausgesetzt war.

Mit einer gegebenen Sinusbusssole lassen sich direct nur Ströme messen, deren magnetische Wirksamkeit geringe die magnetische Richtkraft der Nadel, deren Werth (siehe I) durch $ag \sin 90^\circ$ ausgedrückt ist. Sinusbusssole bedürfen je nach der Beschaffenheit der Ströme, zu deren Untersuchung dienen sollen, einer verschiedenen Einrichtung. Für selbige Ströme genügt schon eine einzige um die Nadel laufende eines dicken Drahtes oder Kupferstreifens.

370. Die Tangentebusssole. Wenn der electricische durch den Querschnitt eines kreisförmig gebogenen (Fig. 139) geht und wenn der Magnetnadeln in der Mitte des Ringes sich befindet, so vereinigt sich die magnetische Wirksamkeit sämtlicher Elemente des Rings zu einer bewegenden Kraft, welche recht gegen die Ebene desselben gerichtet ist, deren Grösse der Summe aller gleichzeitigen Kräfte der Ring begränzender Stromtheile proportional ist.



Fig. 139.

Gesetzt im Kreismittelpuncte sei eine Magnetnadel aufgehängt, von so geringer magnetischer Kraft, dass die Resultante der magnetischen Kräfte des Rings bei den verschiedenen Ablenkungen der um den Mittelpunkt schwingenden Nadel keine merkliche Aenderung erleidet. Man gebe der Nadel eine solche Stellung, dass sie mit der magnetischen Meridians zusammenfällt, dass also die magnetische Achse der Nadel während ihrer gewöhnlichen Schwingung ganz in diese Ebene zu liegen kommt. Die Linie NS (Fig. 140) bezeichnet die ursprüngliche Lage. Gleichlaufend damit wirkt die magnetische Kraft, senkrecht dazu, welche durch die Kraft eines durch den Ring fließenden Stroms. Angenommen die Nadel, durch diesen Strom abgelenkt, bilde nunmehr mit dem magnetischen Meridian den Winkel φ . Ist sie in dieser abgelenkten Stellung zur Ruhe gekommen, muss die ablenkende Kraft des Stroms der zurückführenden des Erdmagnetismus im Gleichgewicht stehen. Ersterer wirkt durch die Linie sf , und der Theil der

Nadel keine merkliche Aenderung erleidet. Man gebe der Nadel eine solche Stellung, dass sie mit der magnetischen Meridians zusammenfällt, dass also die magnetische Achse

Fig. 140.



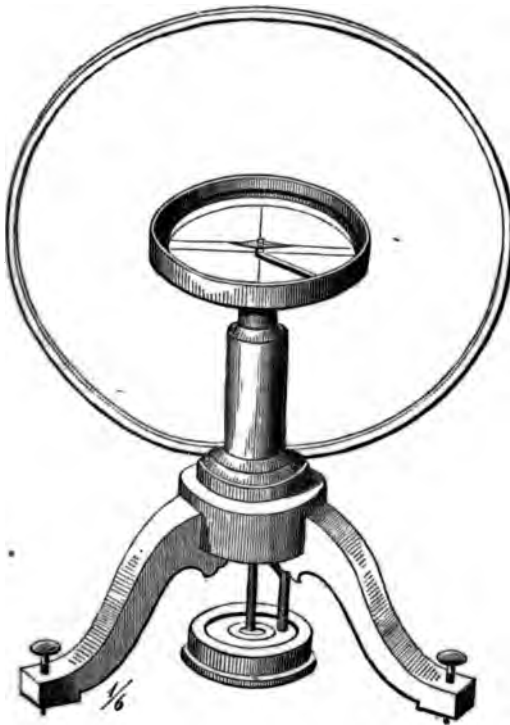
nen Nadel während ihrer gewöhnlichen Schwingung ganz in diese Ebene zu liegen kommt. Die Linie NS (Fig. 140) bezeichnet die ursprüngliche Lage. Gleichlaufend damit wirkt die magnetische Kraft, senkrecht dazu, welche durch die Kraft eines durch den Ring fließenden Stroms. Angenommen die Nadel, durch diesen Strom abgelenkt, bilde nunmehr mit dem magnetischen Meridian den Winkel φ . Ist sie in dieser abgelenkten Stellung zur Ruhe gekommen, muss die ablenkende Kraft des Stroms der zurückführenden des Erdmagnetismus im Gleichgewicht stehen. Ersterer wirkt durch die Linie sf , und der Theil der

um die Nadel abzulenken strebt, durch sb ausgedrückt, letztere (die erdmagnetische Kraft) durch sg und ihre die Nadel richtende Seitenkraft durch $sa = sb$. Es ist $sa = sg \sin \varphi$ und $sb = fs \cos \varphi$. Folglich $fs = sg \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = sg \operatorname{tg} \varphi$.

Für einen andern Ablenkungswinkel φ' würde man eben so finden $f's = sg \operatorname{tg} \varphi'$ u. s. f. D. h. die Tangente des Ablenkungswinkels gibt ein relatives Maass für die Stärke des Stroms.

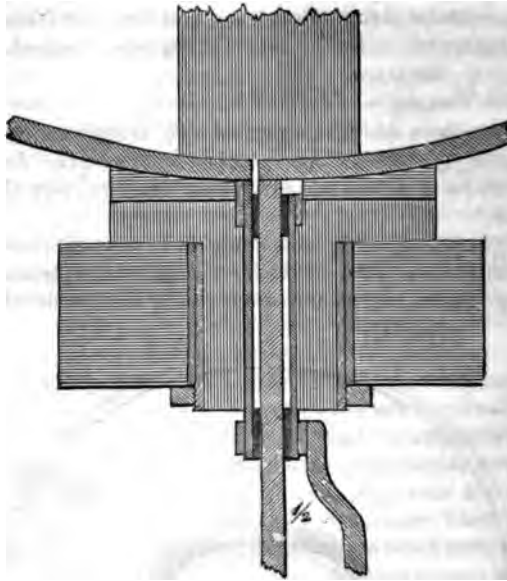
Die Tangentenbussole, zugleich mit der Sinusbusssole von Pouillet empfohlen ist eine Anwendung dieses Lehrsatzes. Die Fig. 141 zeigt ein solches Instrument in $\frac{1}{6}$ der natürlichen Grösse.

Fig. 141.



Man leitet den galvanischen Strom durch einen grossen und starken kupfernen Ring in der Ebene des magnetischen Meridians. Die Zuleitung geschieht durch zwei langen dicken kupfernen Stiel, die Ableitung durch eine kupferne Röhre (siehe die Durchschnitzzeichnung Fig. 142), welche den Stiel umgibt ohne ihn zu berühren. Beide, das zuleitende und ableitende Ende tauchen in Quecksilberbecken, möglichst weit unterhalb des Reifes so aufgestellt, dass sich derselbe um eine verticale durch seinen Mittelpunkt gehende Axe frei drehen lässt. Die

Fig. 142.



Spitze, auf welcher die Magnetnadel ruht, ist entweder der Mittelpunkt selbst, oder befindet sich doch nahe dabei in der Axe des Rings. Die Länge dieser Nadel darf $\frac{1}{4}$ vom Kreisdurchmesser nicht übersteigen. Damit sich die Ablenkungsbögen dennoch mit genügender Schärfe beobachten lassen, pflegt man auf der Nadel einen Glasfaden von drei- bis vierfacher Länge zu befestigen, dessen Enden unmittelbar vor der Kreistheilung vorübergehen. Ein Spiegelstreifen, der unter dem Theilkreise auf der wagerechten Bodenfläche der Kapsel aufliegt, sichert während des Ablesens die richtige Stellung des Auges.

Die beschriebene Tangentenbussole ist vorzugsweise für das Messen starker electrischer Ströme berechnet. Der Querschnitt des kreisförmigen Leiters muss deshalb so gewählt werden, dass er der bewegten Electricität keinen merklichen Widerstand entgegensetzen kann. Bei dem Instrumente Fig. 141 beträgt die Breite des Reifs 5mm, die Dicke 7,5mm auf einen mittleren Durchmesser von 401,3 Millimeter. Die beiden Drähte, welche die Verbindung mit dem Electromotor vermitteln, erhalten am besten einen eben so grossen Querschnitt; die sind mit Seidenband umwickelt und werden auf 1 Metre Länge dicht neben einander fortgeführt, damit ihre Wirkungen auf die Nadel sich wechselseitig aufheben. Die übrigen Theile der electrischen Kette dürfen in keinem geringeren als in 1 Metre Abstände von dem Ring aufgestellt werden.

Die Tangentenbussole hat vor der Sinusbusssole den Vorzug, dass sie eine Bestimmung der Stromstärke unmittelbar aus dem Ablenkungsbogen der Nadel, also für jeden Augenblick der Beobachtung gestattet. Da jedoch die Bedingung einer Nadel, deren Pole von allen Punkten des Reifes gleichweit abstehen, nur annähernd erreichbar ist, so erscheint die Berechnung der Stromstärken nach dem Sinus des Drehungsbogens wenigstens im Princip genauer. Das vorher beschriebene Instrument lässt sich übrigens

ehr leicht auch als Sinusbussole benutzen, da der Ring, wie erwähnt wurde, um eine vertikale Axe drehbar ist. Hatte man sich an bei der Anfertigung desselben an die oben vorgeschriebenen Dimensionen gehalten, und benutzt man es dann zur Messung von Strömen von unveränderlicher Stärke, einmal nach dem Principe der Tangentenbussole, dann nach dem der Sinusbussole, so ergibt sich, dass die nach beiden Methoden erhaltenen Resultate bis zu 1 Grad Ablenkung und selbst darüber fast genau proportional sind. Für stärkere Ströme zeigt sich eine allmähliche Abnahme der nach den Tangenten berechneten Werthe; der hieraus entspringende Fehler übersteigt jedoch niemals einen halben Grad. Man kennt ja jetzt keine electricischen Ströme von sehr bedeutender Stärke, deren Veränderlichkeit während einer gewissen Dauer zwischen engeren Gränzen eingeschlossen ist.

Einige Aufmerksamkeit erfordert die richtige Einstellung des Leigers auf den Nullpunct der Theilung. Fehlerhafte Resultate, die aus einer unrichtigen Einstellung entspringen könnten, werden meistens leicht umgangen, wenn man den zu messenden Strom abwechselnd links und rechts in den Ring eintreten lässt und aus den beobachteten Ablenkungen das Mittel nimmt.

371. Das Magnetometer. Wir müssen jetzt noch ein anderes galvanometrisches Werkzeug kennen lernen, welches, was die Schärfe der Messungen die es zulässt anbelangt, alle andern derartigen Geräthschaften weit übertrifft. Das Magnetometer, so genannt weil es von Gauss ursprünglich zu magnetischen Messungen bestimmt war, lies sich durch Umgebung mit einem Multiplikatordrahte sehr leicht in ein Galvanometer verwandeln.

Die Fig. 143 (Pl. IV. 1) zeigt den Längendurchschnitt dieses Instrumentes in $\frac{1}{4}$ der natürlichen Grösse; Fig 144 (Pl. IV. 2) einen Querschnitt nach der Linie MN. *ab* ist ein prismatischer Magnetstab, 1 Decimeter lang und ungefähr 3 Pfund schwer. Er ruht auf zwei Messingstäben von Messing, die mittelst 4 Schrauben an einem beweglichen Rahmen von demselben Metalle befestigt sind. Der obere Theil dieses Rahmens, zugleich mit dem Aufhängesystem ist in Fig. 145 (Pl. IV. 3) in halber natürlicher Grösse gezeichnet. Die Aufhängung geschieht an einem sehr dünnen Eisendrahte (2 Metre davon wiegen 0,553 grm.) von solcher Länge, als es eben die Höhe des Zimmers erlaubt. Unmittelbar über dem oberen Querstücke des Rahmens befinden sich zwei kreisrunde Scheiben von gleichem Durchmesser, von welchen die untere auf dem Rahmen fest sitzt und in Grade getheilt ist (Torsionskreis). An der oberen, die um ihren Mittelpunkt drehbar ist, befindet sich nur ein einziger Strich. Diese Scheiben dienen um eine etwa vorhandene Torsion des Drahtes für die Ruhelage der Magnetnadel aufzuheben, so wie auch bei sehr feinen Messungen, nach vorhergegangenen Versuchen über die Grösse des Torsionswiderstandes, diesen Einfluss selbst mit in

Rechnung nehmen zu können. Zwischen den Rahmstäben eingeschoben, befindet sich ein Planspiegel S, um eine vertikale und eine horizontale Axe drehbar, dessen Halter an den Stäben auf und nieder beweglich ist, und an der passenden Stelle durch Reibung festgehalten wird. Der Magnetstab schwingt innerhalb eines hölzernen Kastens, in dessen Deckplatte sich zwei kleine Oefnungen befinden, durch welche die Rahmstäbe gehen. Auf beiden Seiten ist er der Nadel entlang durch Glasscheiben geschlossen. Um den Magnetstab herum läuft ein dicker Kupferring rr, der wie in der Folge erklärt werden wird, den Zweck hat, die Schwingungen der Nadel zu mässigen, und aus diesem Grunde der Dämpfer genannt wird. Von demselben nur durch ein dünnes Brettchen getrennt, befindet sich der Multiplicatordraht (von 0,9 mmre Dicke, 275 Umwindungen in 8 Lagen übereinander)*).

Dem Spiegel gegenüber ist ein Theodolith (siehe Fig. 146) auf einer wo möglich gemauerten und von dem übrigen Fussboden getrennten Unterlage, in ungefähr 4 Meter, oder wenn es angeht auch weiteren Entfernung aufgestellt. Die optische Axe des Fernrohrs an Theodolith ist etwas höher als die Nadel und in einer Verticalebne, die mit der Ebne des magnetischen Meridians einen beliebigen Winkel bilden kann, so abwärts geneigt, dass sie gegen die Mitte des in der Drehaxe des Magnetstabs angebrachten Spiegels gerichtet ist. An dem Stativ des Theodolithen ist eine vier Fuss lange, in einzelne Millimeter getheilte horizontale Scale befestigt, welche durch die optische Axe des Fernrohrs, den Aufhängedraht der Nadel und die Mitte des Spiegels gehende Vertikalebne winkelrecht durchschneidet. Der Durchschnittspunkt, welcher Mittelpunkt der Scale heissen mag, wird durch einen von der Mitte des Objectivs herabhängenden sehr feinen und mit einem Gewichte beschwerten Faden bezeichnet; die Scale steht in einer solchen Höhe, dass das Bild eines Theils derselben im Spiegel durch das Fernrohr erscheint, dessen Ocular zum deutlichen Sehen auf die Entfernung dieses Bildes gestellt ist. Die

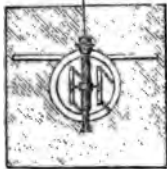
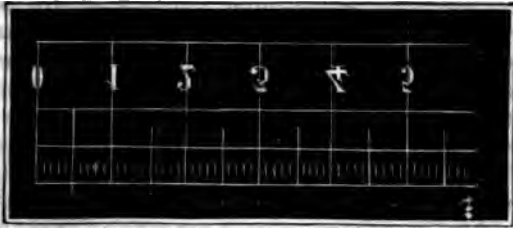


Fig. 147 gibt eine Probe der Scale; die Zahlen sind darauf verkehrt aufgetragen, damit sie im Spiegel gesehen richtig erscheinen.

Es erhellt nun leicht, dass wenn die Ebne des Spiegels der Scale parallel gegenübersteht, das Bild des Mittelpunctes der Scale auf der optischen Axe des Fernrohrs erscheinen muss. Dreht sich

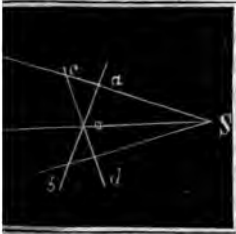
*) Magnetometer von dieser Einrichtung, von ausgezeichnete Güte, gefertigt der Mechanicus Leys er in Leipzig.

7.



Der Magnetstab und nöthigt er dadurch die Spiegelebne, den Winkel zu beschreiben, so wird ein anderer Punct der Scale im Fernrohr erscheinen und durch den Vertikalfaden seines Kreuzes gedeckt werden. Jede Aenderung in der Richtung der Nadel wird also sogleich wahrgenommen. Es sey ao

Fig. 148.



(Fig. 148) die Lage des Spiegels bei einer gewissen Stellung der Magnetnadel; o ist die Mitte desselben; CoS die Richtung der optischen Axe des Fernrohrs; AB die Scale; beide auf eine durch die Mitte des Spiegels gelegte Horizontalebne projectirt. Nach optischen Gesetzen wird ein Punct A der Scale durch das Fernrohr sichtbar seyn, wenn $oS = oA$ und wenn der Spiegel eine solche Stellung erhält, dass die Linie AaS die Ebne des Fernrohrs rechtwinklig durchschneidet, so dass S , das Spiegelbild des Punctes A in die Verlängerung der optischen Axe zu liegen kommt. Wenn der Spiegel einen sehr kleinen Winkel aoc beschreibt und in die veränderte Stellung co gelangt, so kommt ein anderer Punct B der Scale vor das Fernrohr. Da nun der beschriebene Winkel sehr klein ist, so schneidet die von B durch den Spiegel gezogene Gerade Bd fast den Punct S , oder das Spiegelbild liegt fast an derselben Stelle wie vorher; d. h. wenn der Spiegel aus der Lage co in die Lage cd übergeht, wird der Beobachter im Puncte C nach wie vor alle zwischen A und B liegende Puncte vor dem Auge sichtbar sehen und es ist für die Empfindung gerade so, als wären alle diese Puncte aus dem Mittelpuncte S aus der Bogen ACB beschrieben worden. Die Dreiecke coa und cSd sind einander ähnlich, weil sie rechtwinklig sind und den Winkel c gemein haben; es muss daher $coa = cSd$ seyn, also $CS = 2oa$, der Drehungswinkel des Spiegels und der Nadel, seyn ASB .

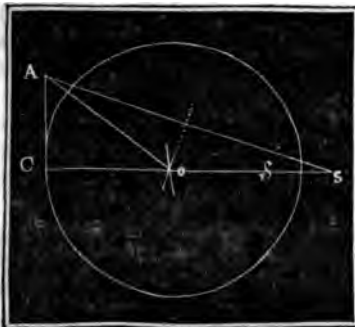
Denke sich von S aus mit dem Halbmesser SC einen Kreis zu beschreiben, so bildet die Scale (unter der Voraussetzung dass AB im Vergleich mit CS klein sey) gleichsam ein Bogenstück desselben. Ist z. B. $Co = 5$ Meter, also $CS = 10$ Meter, so findet

man den Kreisumfang = 62,8 Meter = 62800 mmtheile. Ein Scalenthell in Unterabtheilungen von G drückt entspricht hiernach 20,63 Sekunden; von die lässt sich aber bei einiger Uebung noch $\frac{1}{10}$ abschätzen.

Bei dieser Berechnung blieb unbeachtet, dass c gerade Linie ist und dass S streng genommen nicht als schaftliche Mittelpunkt für alle Spiegelbilder genon kann; indem man die vor dem Auge vorübergegartheile dem Ablenkungsbogen des Magnetstabs prop wird daher ein kleiner Fehler begangen. Derselbe wegen Ablenkungen in der Regel ausser Acht bleiben den grössten Ablenkungen, welche sich auf der Scen lassen, würde er, die Dimensionen des vorhergespiels vorausgesetzt, bis zu 4 Scalentheilen steigen.

Die Schärfe, womit die geringste Veränderung in der Nadel alsbald sich erkennen lässt, ergibt sich aus dem Umstande, dass man niemals auch nur w blicke hindurch genau denselben Punct der Scale behält. Die Ruhelage der Nadel für einen gewissen Z sich daher stets nur aus der Beobachtung ihrer Schwleiten. Zu diesem Zwecke benutzt man am besten auf die sehr langsame Bewegung des Magnetstabs be zuerst in den Resultaten aus den Beobachtungen schen Vereins, Jahr 1836, von Gauss beschriebne V untersucht zuerst, welche gerade Anzahl Sekunden gungszeit der Nadel am nächsten kommt; diese Zahl Gleichgewichtslage soll nun für einen Zeitpunkt T bden; so beobachtet man, nachdem die Oscillationen worden sind, dass sie innerhalb des Spielraums von Scalentheilen vor sich gehen, durch das Fernrohr c

*) Ganz genau lässt sich der Ablenkungsbogen auf folgende Weise bestimmen.
Fig. 149.



Es bezeichne o die Mitt
 AC die Scale; Co die F
tischen Axe des Fernroh
der Scale wird gesehen,
gel aus der mit AC par
weit abgelenkt ist, dass,
Ebne desselben die gera
kelrecht durchschneidet.
durch direkte Abmessun
len die winkelrechte En
Spiegels von der Scale
 $\frac{AC}{Co} = \text{tng } \alpha$; es ist aber
dem Drehungswinkel des

her t Sekunden vor dem Termin T und denjenigen her t Sekunden nachher durch den Perpendikularfaden reuzes gedeckt wird. Der zuerst bemerkte Punct sey während sich die Nadel bei der äussersten Ablenkung in g befunden haben mag, so ist es einleuchtend, dass nach Verlauf von $2t$ Sekunden, vom Puncte der Beobachtung a an gerechnet, die Nadel von der jenseitigen Gränze h ebenfalls bereits wieder zurückgewichen seyn und dass, wenn die zweite Beobachtung den Punct b bezeichnet, der Mittelpunkt der Schwingungen bei geringer Dämpfung um so genauer die Mitte zwischen a und b seyn muss, je kleiner überhaupt die Bewegungen waren. Inzwischen, grösserer Genauigkeit und Sicherheit wegen, beschränkt man sich hierauf nicht, sondern macht noch einige ähnliche Bestimmungen für ein Paar Zeitmomente kurz vor, und eben so viele nach T , immer in gleichen Zeitabschnitten. Unter dieser Voraussetzung, die Aenderung der Declination während dieser Zeit gering betrachtet werden darf, wird das Mittel aus allen Thaten, das für die Zeit T geltende Enderesultat seyn, besser als die einzelne Bestimmung für T selbst.

Die Magnetometernadel im hiesigen physikalischen Cabinet vollendete in 22 Sekunden. Hierauf bezieht sich die folgende Beobachtung, bei welcher von einer Beobachtung zur andern allemal $11 = 2t$ Sekunden

2 Uhr 22'	27"	567		
	38	566	565	} 563,7
	49	563	563,5	
23'	0	561	563,5	
	11	564	563,5	
	22	566	563,0	
	33	562		

die Tabelle enthält die einzelnen Aufzeichnungen, die dritte die aus je zweifacher Schwingungszeit von $22 = 2t$ Sekunden auseinanderstehenden berechneten Resultate; z. B. 565 ist das Mittel der ersten Beobachtung und gilt für den Zeitpunkt der zweiten. 563,7 ist das mittlere Resultate und bezeichnet die Stellung der Nadel um 2

Stunden Strom, der durch die Drahtwindungen geleitet wurde, bei Aenderung dieser Stellung. Man erhielt jetzt

2 Uhr 27'	27"	549,0		
	38	551,5	548,25	} 549,08
	49	547,5	548,75	
28'	0	546,0	549,00	
	11	550,5	550,65	
	22	555,3	548,75	
	33	547,0		

Und als der Strom wieder unterbrochen wurde:

2 Uhr 32' 27"	564,9			
	38	562,5	563,7	
	49	562,5	563,5	
33' 0	564,5	564,5	} 563,89	
	11	566,5		564,25
	22	564,0		563,5
	33	560,5		

Das Mittel der ersten und letzten Stellung, bei welcher kein die Nadel ging, ist 563,8; hiervon 549,08 abgezogen, erhält man diejenige Ablenkung, welche durch den Strom bewirkt wurde. Dieser wird wegen der Kleinheit des wahren Ablenkung die magnetische Kraft des Stroms proportional gesetzt.

Um den Ablenkungsbogen ganz genau zu finden, muss man die Ablenkung Seite 300 bewiesen wird $\frac{14,72}{R} = \tan \alpha$ setzen, wo dann $\frac{\alpha}{2}$

Ablenkungswinkel gibt. R beträgt in unserem Falle 3398 Scale findet hiernach 14,707 anstatt 14,72.

Bei den feinsten magnetometrischen Messungen, z. B. bei denen über die Veränderlichkeit in der Abweichung des magnetischen sowie über die Intensität des Erdmagnetismus, hat man auch für nöthig die unmittelbaren Ergebnisse der Beobachtung auf den durch die Kraft des Fadens bewirkten Einfluss zu berichtigen; indem durch denselben die Ablenkungen um ein Weniges verringert, die Oscillationen verkürzt werden. Näheres hierüber findet man in Pogg. Ann. Bd. 47, ferner in den Result. aus den Beobacht. des magnetischen Vereins in Berlin Seite 128.

Ein Magnetometer der beschriebenen Art mit grosser Genauigkeit gestattet, wie man sieht, die Erreichung jeder nöthigen Genauigkeit und Schärfe. Es ist das feinste Instrument für die magnetischen Kräfte der Erde und jedes Instrument eignet sich gleich gut, um electriche Ströme von jeder Stärke zu messen. Sein Gebrauch ist jedoch mühsam und zeitraubend. Ein Magnetometer empfiehlt sich daher weniger zum allgemeinen Gebrauche bei electromagnetischen Untersuchungen, als zum Prüfen der Grad der Brauchbarkeit und Treue anderer Magnetometer. Man hat indessen, immer unter Beibehaltung des Grundsatzes, auch Magnetometer von viel kleinerem Umfange ausgeführt; sie bieten, bei wohl erdachteter Schärfe ihrer Anzeigen, doch für den gewöhnlichen Gebrauche eine ungleich grössere Bequemlichkeit.

Ueber das Maass magnetischer Kräfte

372. Die Magnetnadel gebraucht man, um die Richtung und Stärke magnetischer Kräfte zu messen, ähnlich wie man das Schwere-Pendel benutzt hat, die Richtung und Intensität der Schwere zu ermitteln.

Man denke sich einen Magnetstab mit zwei Polen.

r Oberfläche erscheinen mit freiem Magnetismus behaftet, v auf der einen, negativ auf der andern Seite seiner neutralen Zone.

multipliziert man irgend ein Element des freien Magnetismus einem senkrechten Abstände von der neutralen Zone, so wird erhaltenes Product: das statische Moment dieses magnetischen Elementes genannt. Bezeichnen wir die Summe der Momente aller Elemente auf der positiven Seite mit μl ; so bedeutet $+\mu$ eine Menge von freiem Magnetismus, welche in dem Abstände $+l$ ausgeschieden, auf eine Drehung des Stabs um seine vertikale denselben Einfluss äussern würde, wie die auf der positiven Seite wirklich vorhandenen, jedoch über zahllose zerstreute magnetischen Kräfte. Eben so kann man sämmtliche auf der negativen Seite vertheilten Kräfte durch eine Kraft $-\mu$, am Hebelarme $-l$ wirksam, ersetzen. Es ist aber $(-\mu)(-l) = \mu l$ dasselbe; beide vertheilte magnetische Kräfte unterstützen sich gleich bei der Drehung.

Man nennt $2l\mu = M$ das magnetische Moment eines Magnetstabs; $2l$ die Scheidungsweite seines freien Magnetismus.

373. Die Kraft, vermöge der die Magnetnadel um ihre Drehaxe gezwungen wird eine bestimmte Lage einzunehmen und zu behaupten, ist, nach dem zusammengesetzten Verhältnisse der Grösse des freien Magnetismus und des auf den Abstand l von der Drehaxe reduzierten freien Magnetismus der Nadel. Die Stärke des Erdmagnetismus muss bestimmt werden durch die Grösse der bewegenden Kraft, welche in Folge seiner Einwirkung auf die Einheit der freien magnetischen Flüssigkeit ausgeübt wird. Diese Stärke sey T ; so bezeichnet der Ausdruck MT das Drehungsmoment der Nadel im Fall, dass ihre magnetische Axe den magnetischen Meridian (d. h. die Richtung des Erdmagnetismus) rechtwinklig durchschneidet.

74. Unter Einheit der freien magnetischen Flüssigkeit begreifen wir diejenige Menge derselben, deren Abstossungskraft auf gleiche Menge der gleichartigen, oder deren Anziehungskraft eben so grosse Menge der ungleichartigen, in der Entfernung $= 1$, gleich kommt der beschleunigenden Kraft 1 auf die Einheit der Masse. Die beschleunigende Kraft 1 ist aber diejenige, welche in der Zeiteinheit der in ihrer Richtung sich bewegenden Masse die Geschwindigkeit 1 einprägt; z. B. eine Kraft, welche eine Milligramme Masse in einer Sekunde eine Geschwindigkeit von einem Millimetre ertheilt.

Ähnlich wird die Schwerkraft als Einheit der beschleunigenden Kräfte angenommen. Das neu gewählte Grundmaass hat den Vorzug absoluter Unveränderlichkeit für alle Theile der Erde, und bildet also einen richtigeren Ausgangspunkt der Vergleichung.

Beschleunigung der Schwere ist 9,8088 Metre oder 9808,8 Millimetre;

die beschleunigende Kraft der Schwere in dem angenommenen Grundmaass der Beschleunigung ausgedrückt, würde also 9808,8 betragen.

375. Für die Pendelschwingungen gilt bekanntlich die Formel $t^2 = \pi^2 \frac{l}{c}$ wo l den Abstand des Schwingungspunctes von der Drehaxe und c die Beschleunigung der in der Pendelmasse wirksam bewegenden Kraft bedeutet. Der gefundene Werth von c ist aber auch der unmittelbare Ausdruck der beschleunigenden Kraft selbst, wenn diejenige beschleunigende Kraft, welche der Masseneinheit in der Zeiteinheit die Geschwindigkeit 1 ertheilt, als Grundmaass genommen wird.

So würde die beschleunigende Kraft der Schwere = 9808,8 zu setzen seyn, weil $c = 9808,8$ Mmtre gefunden wird.

Die allgemeine Formel des Pendels ist nicht unmittelbar geeignet, um das Drehungsmoment der Kraft zu bestimmen, welcher es seine Bewegungen verdankt. Sie lässt sich aber sehr leicht zu diesem Zwecke einrichten. Es sey p die in den Schwingungspuncte reducirte bewegende Kraft, m die in denselben Punct reducirte

Pendelmasse, so ist die beschleunigende Kraft $c = \frac{p}{m}$, folglich auch $c = \frac{pl}{ml}$.

Wird nun dieser veränderte Ausdruck von c , an die Stelle von c in die allgemeine Gleichung gesetzt, so erhält man $t^2 = \pi^2 \frac{lm}{pl}$. Es ist aber $l^2m = K$ gleich dem Trägheitsmomente der Pendelmasse; kennt man daher das Trägheitsmoment eines Pendels und seine Schwingungszeit, so lässt sich aus der Gleichung $t^2 = \pi^2 \frac{K}{pl}$ das Drehungsmoment pl durch Rechnung finden.

Das Drehungsmoment einer unter dem Einflusse des Erdmagnetismus schwingenden Magnetnadel ist, wie wir gesehen haben, MT .

Daher $t^2 = \pi^2 \frac{K}{MT}$ die Gleichung des magnetischen Pendels. Lässt sich das Trägheitsmoment eines Magnetstabes ermitteln, so ergibt sich aus der Beobachtung seiner Schwingungszeit, als Formel für das magnetische Pendel: $MT = \frac{\pi^2 K}{t^2}$ (I)

376. Bestimmung des Trägheitsmomentes der Magnetstäbe. Die Mechanik lehrt, dass das Trägheitsmoment eines Körpers von parallelepipedischer Gestalt und bekannter gleichartiger Masse durch Rechnung gefunden werden kann. Die für diese Rechnung geltende Formel, für deren Gültigkeit die Mechanik Rechenschaft gibt, ist: $K = m \frac{l^2 + b^2}{12}$, wo l die Länge, b die Breite, m die

ichtsmasse des parallelepipedisch gestalteten Stabes vorstellt ausserdem noch vorausgesetzt wird, dass derselbe um eine und δ senkrechte durch den Mittelpunct gehende Axe schwiuge. Wenn diese Bedingungen der Gestalt und Aufhängung nicht genügender Schärfe als geltend angenommen werden dürfen, sich das Trägheitsmoment auf folgende Weise experimentell tlen: Man bestimmt die Schwingungszeit der frei schwingen-Nadel. Man belastet sie hierauf auf beiden Seiten der Drehaxe b gemessnem Abstände mit trägen, unmagnetischen Massen, mit prismatischen Stücken Messing, deren Trägheitsmoment, gen auf die Drehaxe, bekannt ist, oder doch durch Rechnung t gefunden werden kann. Es sey von beiden zusammen = k. ermittelt nun von Neuem die Schwingungszeit der jetzt lang- r schwingenden Nadel, und gelangt auf diese Weise zu den

g. 151. Gleichungen $MT = \frac{\pi^2 K}{t^2}$ und $MT = \frac{\pi^2 (K + k)}{t'^2}$



aus deren Combination sich ergibt: $K = \frac{kt^2}{t'^2 - t^2}$.

Beispiel: Die Magnetnadel, deren Trägheitsmoment bestimmt werden soll, wird mittelst einer kleinen Hölse von dünnem Messingblech an einem ungedrehten Seidenfaden horizontal aufgehängt; am besten unter einem Glaagehäuse, wie in Fig. 151, damit während der Schwingungen jeder Luftzug vermieden wird. Auf dem Boden unter der Nadel ist eine gerade Linie ungefähr in der Richtung des magnetischen Meridians gezogen. Man setzt die Nadel in regelmässige, nicht zu grosse Schwingungen und bestimmt mittelst einer Sekundenuhr die Zeitpuncte, in welchen ihre Längenrichtung mit der Linie auf dem Tische parallel steht.

Zeit.	Mittel-	reducirt auf die Mitte
Minuten. Sekunden.	werthe.	der Beobachtungszeit.
33	51,5	55,5 + 3.9,37 = 34' 23'',61
	59,5	4,75 + 2.9,37 = 34' 23,49
34	10	14,0 + 1.9,37 = 34 23,37
	18	= 34 23,40
	28,8	23,4 - 1.9,37 = 34 23,53
	37	32,9 - 2.9,37 = 34 23,66
	47,8	42,4 - 3.9,37 = 34 23,59
	55,6	51,7 - 4.9,37 = 34 23,52

Die Zahlen in der ersten Spalte sind auf diese Weise gefunden worden. Die auf dem Tische war nicht genau parallel mit dem Meridian. Aus diesem ergaben sich auf der einen Seite der Linie Minimums - Schwingungen, der andern Seite Maximums - Schwingungen. Der hieraus entspringende Fehler zeigt sich jedoch in den Zahlen der zweiten Spalte vollkommen wieder aus. Die Mittelwerthe zwischen je zwei auf einander folgende Beobachtungen bezeichnen die Anfangs- und Endpuncte der einzelnen Schwingungen. Zwischen den Zeitpuncten 33' 55'',5 bis zu 34' 51'',7 sind demnach 6 ganze Schwingungen enthalten. Während ihrer Vollendung verlossen 56,2 Sekunden.

9,37 Sekunden gibt daher die Zeit einer Schwingung.

Dieser Werth lässt sich genauer bestimmen, wenn die Zeitmessung länger gesetzt wird. Es ist aber zu dem Ende gar nicht nöthig, alle Schwingungen auf's Experimentalphysik.

direkt zu zählen, sobald nur die Mitte der Beobachtungszeit von zwei in langem Zeitraum auf einander folgenden Beobachtungsreihen genau gestimmt wird. Dieser Zeitpunkt ist aus der zweiten Spalte nur annäherungsweise bekannt und beträgt hiernach $34' 23'',4$. Man muss zu demselben Punkte gehen wenn man zu $33' 55'',5$ drei ganze Schwingungselten, oder zu $34' 4'',$ ganze Schwingungselten, oder zu $34' 14''$ eine ganze Schwingungselten hin oder auch indem man von $34' 32'',9$ eine Schwingungselten abzieht u. s. d. diesem Wege sind die 7 Bestimmungen in der letzten Spalte erhalten. Das arithmetische Mittel derselben gibt die wahre Mitte der Beobachtung $= 34, 23'',52$. Nach einigen Minuten, während deren Verlauf die Schwingung ununterbrochen fort dauerte, wurde die folgende Beobachtungsreihe erhalten

Zeit.		Mittel-	reducirt auf die Mitte
Minuten.	Sekunden.	werthe.	der Beobachtungszeit.
40'	31	36,75	41' 4'',74
	42,5	46,25	4,95
	50	55,50	4,90
41'	1	5,00	5,00
	9	14,25	4,85
	19,5	23,25	4,55
	27	32,75	4,75
	38,5		
			41' 4'',82

Als Zeit einer Schwingung findet man hier 9,33 Sekunden und als Mitte der Beobachtungszeit $41' 4'',82$ in der zweiten Reihe
 — — — — — $34' 23'',52$ in der ersten Reihe.

Der Unterschied von der Mitte der ersten bis zur Mitte der zweiten Beobachtungsreihe beträgt hiernach $6' 41'',3 = 401,3$ Sekunden.

Diese Anzahl von Sekunden muss einer ungeraden Zahl ganzer Schwingungen entsprechen, denn bei der einen Versuchsreihe ging die zuerst Schwingung rechts, bei der andern ging sie links. Nun findet man $\frac{401,3}{9,35}$

Die diesem Quotienten zunächst stehende und zugleich ungerade Zahl während des Zeitraums von 401,3 Sekunden müssen also 43 Schwingungen stattgefunden haben; wonach als Zeit einer Schwingung sich die $\frac{401,3}{43} = 9,333$ Sekunden ergibt.

Die Magnetnadel wurde jetzt auf jeder Seite mit 10 Grm belastet. Der Abstand der Mittelpunkte dieser Massen von dem Drehpunkte betrug 47. Das Trägheitsmoment beider Massen zusammen, bezogen auf den Drehpunkt war $k = 44780$.

Die Schwingungszeit wurde auf ähnliche Weise wie vorher ermittelt wurde gefunden $t' = 11,32$ Sekunden.

$$\text{Folglich das Trägheitsmoment der Nadel } K = \frac{44780 \times (9,333)^2}{(11,32)^2 - (9,333)^2} =$$

Der gebrauchte Magnetstab war 99,2 Mm lang bei 12,2^{mm} Seite 115,5 Grm.

Das Trägheitsmoment nach diesen Daten berechnet, war 96125.

Das Mittel beider Werthe als der Wahrheit am nächsten kommend genommen, und das Milligramme als Einheit der Masse gesetzt, erhält man $K = 95588000$.

Indem man das gefundene Trägheitsmoment der Nadel mit $\alpha^2 = 9,8$ multiplicirt und durch $t^2 = (9,33)^2 = 87,105$ dividirt, findet man das Drehmoment $MT = 10845000$.

Diese Zahl bezeichnet, ausgedrückt in Einheiten des Grundmaasses, die der bewegenden Kraft, den Druck, welcher an einem Hebelsarm von

sam, die gewählte Nadel gerade so um ihren Stützpunkt drehen müsste, lieselbe unter dem Einflusse des Erdmagnetismus wirklich bewegt wird, ihre magnetische Axe mit dem magnetischen Meridian einen rechten Winkel bildet. Wollte man diesen Druck in Milligramme übersetzen, so hätte man die für *MT* gefundene Zahl durch 9808,8 (nämlich durch die Beschleunigung *schwere*) zu dividiren.

377. Wenn man die Drehungsmomente verschiedener Magnete an ein und demselben Orte möglichst kurz hinter einander nimmt, so dass die Intensität des Erdmagnetismus innerhalb der Beobachtungszeit als eine constante Grösse betrachtet den kann, so verhalten sich die gefundenen Werthe wie die magnetischen Momente dieser Stäbe und können daher als Maassselben gelten.

378. Die Stärke der Einwirkung eines Magnetstabs auf eine ernt stehende Magnetnadel verhält sich, bei gleichbleibender einseitiger Lage, direkt wie sein magnetisches Moment und rekehrt wie die dritte Potenz der Entfernung seines Mittelpuncton dem Mittelpuncte der Nadel.

Fig. 152.



Es sey beispielsweise *ns* (Fig. 152) die Axe einer kleinen Magnetnadel, in deren Umgebung ein Magnetstab so aufgestellt ist, dass seine Axe in die von dem Mittelpuncte der Nadel errichtete senkrechte *CO* fällt. Es sey *OC* = *R* und *OS* = *ON* = *l*,

er $+ \mu$ und $- \mu$ das in den Polen *N* und *S* ausgeschiedene freie magnetische Fluidum, endlich *m* das magnetische Moment der Nadel.

Die Einwirkung des im Pole *N* befindlichen freien Magnetismus auf die magnetischen Kräfte der Nadel steht im zusammengesetzten Verhältnisse der Werthe $+ \mu$ und $- \mu$ und im verkehrten Verhältnisse zum Quadrat des Abstandes *NC* (*l*). Aehnliche Bedingungen gelten für den freien Magnetismus $- \mu$ des Punctes *S*. Das Bestreben des Stabs, die Nadel zu drehen, entspricht daher der Kraft

$$\frac{\mu m}{(R+l)^2} + \frac{-\mu m}{(R-l)^2} = \mu m \frac{(R-l)^2 - (R+l)^2}{(R+l)^2 (R-l)^2} = \frac{4\mu m l R}{R^4 - 2R^2 l^2 + l^4}$$

ion ist $2\mu l = M$ dem magnetischen Momente des Stabs, folglich indem er und Nenner durch *R* dividirt wird:

$$F = \frac{2Mm}{R^3 - 2Rl^2 + l^4}$$

Ausdruck, der dem Werthe $F = \frac{2Mm}{R^3}$ um so näher rückt, je grösser *R*

ist.

Ein ganz allgemeinen, mittelst einer einfachen geometrischen Construction arten Beweis dieses Satzes findet man in Pogg. Ann. Bd. 55. S. 33.

Angenommen die Axen beider Magnete liegen in derselben horizontalen Ebene und *ns* sey die Richtung des magnetischen Meridians, ist senkrecht gegen den Meridian gestellt. Die Nadel werde den Winkel α abgelenkt, so strebt der Erdmagnetismus dieselbe der Kraft $Tm \sin \alpha$ zurückzurufen, während die ablenkende Kraft des Magnetstabs oder vielmehr das derselben entsprechende Drehungsmoment sich bis zu $\frac{2Mm}{R^3} \cos \alpha$ vermindert hat. Für die

Bedingung des Gleichgewichtes hat man daher

$$Tm \sin \alpha = \frac{2Mm}{R^3} \cos \alpha$$

und hieraus wieder $\operatorname{tng} \alpha = 2 \frac{M}{T} \cdot \frac{1}{R^3}$ (II)

Den Folgerungen, welche zu dieser Formel geführt haben, liegt die Annahme zu Grunde, dass die magnetische Kraft im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernungen abnehme. Die Bestätigung des gefundenen Gesetzes durch die Erfahrung gibt einen Beweis für die Richtigkeit jener Annahme.

Das Gesetz der Wirkungen eines Magnets in die Ferne, so wie dasselbe oben ausgedrückt wurde, wird übrigens durch den Versuch nur dann gerechtfertigt, wenn die bewegliche Magnetnadel klein und der ruhende Stab in solcher Entfernung aufgestellt ist, dass die Hälfte seiner Länge weniger beträgt als $\frac{1}{10}$ des Abstandes der Mittelpunkte beider Magnete.

379. Gauss hat die Frage ganz allgemein behandelt (Pogg. Ann. 28. S. 591) und hat gezeigt, dass der Werth von $\operatorname{tng} \alpha$ in einer Reihe nach fallenden Potenzen von R entwickelt werden kann. Für die Mittelwerthe, welche man erhält, wenn man auf die Nadel von entgegengesetzten Seiten symmetrisch einwirkt, ist

$$\operatorname{tng} \alpha = \frac{2M}{T} \cdot \frac{1}{R^3} + \frac{a}{R^5} + \frac{b}{R^7} + \dots \quad (\text{III})$$

wo die Coefficienten $\frac{M}{T}$, a , b u. s. w. durch Versuche bestimmt werden müssen.

Begnügt man sich mit den beiden ersten Theilsätzen der Gleichung, was geschehen darf, wenn die Abstände nicht unter die dreifache Länge des längsten der beiden Magnete hinabgehen, so braucht man wenigstens zwei Bestimmungen für zwei Abstände oder Werthe von R , welche zu den Gleichungen

$$\operatorname{tng} \alpha = \frac{2M}{T} \cdot \frac{1}{R^3} + \frac{a}{R^5} \quad \text{und} \quad \operatorname{tng} \alpha' = \frac{2M}{T} \cdot \frac{1}{R'^3} + \frac{a}{R'^5}$$

führen. Man entwickelt daraus: $a = R^5 \operatorname{tng} \alpha - 2R^2 \frac{M}{T}$

$$\text{und} \quad \frac{M}{T} = \frac{R^5 \operatorname{tng} \alpha - R'^5 \operatorname{tng} \alpha'}{2(R^2 - R'^2)} \quad (\text{IV})$$

Indem man die berechneten Zahlenwerthe von $\frac{M}{T}$ und a in die Gleichung setzt, muss sich für jede andere Entfernung R'' die entsprechende Ablenkung α der Magnetnadel im Voraus bestimmen lassen.

Auf diesem Wege hat Gauss ganz allgemein den Beweis für die Richtigkeit des Grundgesetzes aller magnetischen Wirkungen

Ferne geführt. (Zu vergl. N. 283.) Die betreffenden Versuche wurden mit dem Magnetometer angestellt, indem man den Magnetstab längs der auf dem Meridian senkrechten durch den Nullpunkt der beweglichen Nadel gehenden Geraden in verschiedenen Entfernungen aufstellte. Von den zahlreichen a. a. O. mitgetheilten Beobachtungen sind die nachfolgenden entnommen. Die gebrauchten Magnete waren etwa 0,3 Metre lang.

R	α	
Metre		
1,3	2° 13'	51'',2
1,5	1° 27'	19,1
2	0 37'	16,2
3	0 11'	0,7
4	0 4'	35,9

Beim flüchtigen Ueberblicke erkennt man, dass die Zahlen in der ersten Spalte fast in umgekehrten Verhältnissen des Cubus der Entfernungen stehen. Eine noch genauere Controlle für die Richtigkeit des Grundgesetzes der Abnahme magnetischer Wirkung (nämlich umgekehrt wie das Quadrat des Abstandes der Pole der wirkenden Kräfte) gewährt die Gleichung

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,086870 \frac{1}{R^2} - 0,002185 \frac{1}{R^3}.$$

Die Coefficienten aus den Beobachtungen selbst abgeleitet sind.

Die beschriebenen Ablenkungsversuche lassen sich, allenfalls mit Aufopferung eines kleinen Theils der Genauigkeit sehr vereinfachen, wenn man anstatt des Magnetometers, den folgenden W. Weber (Res. a. d. Beob. d. magnet. Vereins Jahr 1836) angegebenen kleineren Messapparat dazu anwendet. (Siehe

Fig. 153.

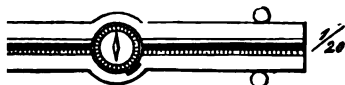


Fig. 153.) Derselbe besteht aus einem ein Metre langen Brette aus festem Holze gefertigt, das mittelst vier Schraubenfüßen auf einem Tische

horizontal gerichtet werden kann. In der Mitte des Brettes ist eine kleine Bussola eingesetzt, deren Nadel höchstens 1 Decimeter lang ist. Die genaue Ablesung ihres Standes kann auf die früher Seite 296 angegebene Weise bewerkstelligt werden. Rechts und links von der Mitte sind Unterabtheilungen des Metres angebracht. Neben der Theilung läuft eine zur Aufnahme kleiner Stäbe bestimmte Rinne. Die Stäbe haben gerade 1 Decimeter bei 12 Millimetre Seite. In die Rinne gesetzt, liegt ihre horizontale Axe in gleicher Höhe mit dem Mittelpunkte der Nadel. Der Gebrauch dieses Apparats ist höchst einfach. Der Magnetstab wird horizontal und rechtwinklig gegen den magnetischen Meridian aufgestellt, so dass die Nadel auf den Nullpunkt einspielt. Ein

Magnet wird in die Rinne gelegt und bei verschiedenen Abständen desselben die bewirkte Ablenkung der Nadel bemerkt. Anstatt eines Magnets kann man auch zwei zugleich anwenden, die man dann in gleichem Abstände von der Nadel, aber auf entgegengesetzten Seiten, den einen z. B. östlich, den andern westlich und so einlegt, dass ihre Wirkungen sich unterstützen. Weil hierdurch die Ablenkungen bedeutend vergrössert werden, vermindert sich der Einfluss der Beobachtungsfehler. M bedeutet in diesem Falle die Summe der statischen Momente beider Magnetstäbe.

Den Abmessungen der Entfernungen liegt die Annahme zu Grunde, nicht nur einer vollkommen regelmässigen Gestalt der Magnetstäbe, sondern auch einer symmetrischen Vertheilung beider magnetischen Flüssigkeiten rechts und links von der Mitte jedes Stabes. Insbesondere die letztere Annahme kann niemals mit Sicherheit gemacht werden. Man entgeht aber dem hieraus möglicherweise entspringenden Fehler, indem man immer in gleichem Abstände, den Magnetstab einmal auf die Ostseite, dann auf die Westseite der Nadel bringt und bei jeder dieser Standorte je zwei entgegengesetzte Ablenkungen, bei umgekehrter Lage des Stabs beobachtet. Man erhält auf diese Weise vier Beobachtungen, deren arithmetisches Mittel als der wahre Werth von α genommen wird. Beispiel:

R Millimetre	Der Stab von der Nadel	Nordpol des Stabs gegen	Ablenkungen	Unterschiede	α
400	Oestlich	Osten	76°	24,1	12°2'15"
	Oestlich	Westen	100°,1		
	Westlich	Westen	100°,05	24,05	
	Westlich	Osten	76°		
300	Oestlich	Osten	61°	55	
	Oestlich	Westen	116°	54,95	
	Westlich	Westen	115°,95		
	Westlich	Osten	61°		

Bei diesen Versuchen waren eigentlich zwei Magnetstäbe von fast gleicher Stärke, in der oben angedeuteten Weise gleichzeitig angewendet worden. Ihre gemeinschaftliche Wirkung entspricht indessen genau der eines einzigen Magneten, dessen Moment $M =$ ist der Summe der Momente beider Stäbe. Die Werte von R und α in die Gleichung (IV. N. 379) substituirt erhielt man $\frac{M}{T} = 650630$

381. Die Tangenten der Ablenkungen einer Magnetenadel unter dem gleichzeitigen Einflusse des Erdmagnetismus und eines Magnetstabs liefern uns das statische Moment des letzteren, dividirt durch die Intensität des Erdmagnetismus. Aus den Schwingungen desselben Stabes unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus, lässt sich, wie wir früher gesehen haben, sein Drehungsmoment oder das Product aus seinem statischen Momente in die Intensität des Erdmagnetismus ableiten. Aus der Verbindung beider Gleichungen

in daher nicht nur die magnetische Kraft der Erde, sondern das magnetische Moment des Stabes, beide unabhängig voneinander und ausgedrückt in absolutem Maasse.

wurde z. B. gefunden $\frac{M}{T} = 6566500$.

Drehungsmoment des einen der bei den betreffenden Ablenkungsversuchen Magnetstäbe war $M'T = 10845000$.

Drehungsmoment des andern, auf ähnliche Weise bestimmt, $M''T = 11420000$.

$(T = (M' + M'')T = 21265000$.

Abweichungen multiplicirt und die Wurzel ausgezogen, erhält man

$$M = 11817000.$$

Die Gleichung durch die erste dividirt und wieder die Quadratwurzel findet man

$$T = 1,800.$$

Drehungsmoment der Erde auf eine transversale Nadel, deren Moment giebt sich hiernach $= 1,8 M$, wobei das Drehungsmoment eines Millilichtes, an einem 1 Millimetre langen Hebel $= 9808,8$ gerechnet wird. Hier Rechnung dasjenige Maass zu Grunde, wonach das Drehungsmoment eines Milligrammgewichtes an einem 1 Millimetre langen Hebel $= 1$, so sind die Werthe von M und T in dem Verhältnisse von $\sqrt{9808,8} : 1 = 99,04 : 1$ zu Grunde, nach diesem grösseren Maasse gerechnet, wird: $T = \frac{1,8}{99,04} = 0,01817$.

Der Werth T giebt, wie aus der Beobachtungsmethode von selbst erhellt, nur den horizontalen Theil des Erdmagnetismus. Um die absolute Intensität abzuleiten, muss T mit dem Cosinus der Neigung (Inclination) dividirt werden.

Die absolute Intensität des Erdmagnetismus wächst mit der Höhe des Beobachtungsortes, während umgekehrt der horizontale Theil derselben nach Norden hin abnimmt und über dem magnetischen Nordpol Null wird. Die horizontale magnetische Erdkraft ist an Orten, wo eigens dazu eingerichtete Räume fehlen, am sichersten in Zimmern, entfernt von Gebäuden und eisernen Geräthschaften. In Zimmern von nicht sehr bedeutendem Umfange ist der Werth von T durch die benachbarten Eisenmassen, wie Eisenanker, Wetterableiter u. s. w. oft beträchtlich geändert. Es ist übrigens klar, dass der Werth von T , einmal be-
trachtet, derselbe nun die wahre oder durch dauernde äussere Einwirkungen modificirte magnetische Kraft der Erde bezeichnen, an der Beobachtung eine sichere Basis bildet, um danach die Abweichungen anderer magnetischer Kräfte auf absolutes Maass bringen zu können. Wir erlangen hierdurch ein Mittel, die Abweichungen magnetischen Einwirkungen auch unabhängig von Beobachtungsorten mit einander zu vergleichen.

Das Bifilar-Magnetometer. Die Grösse von T ist an verschiedenen Orten der Erde verschieden, sondern an demselben Orte veränderlich, sowohl durch Jahr und Jahre, als auch nach den Jahreszeiten und Tages-

stunden. Die gewöhnlich sehr kleinen täglichen Variations der Intensität lassen sich mit den bis jetzt beschriebenen Methoden des Messens nicht leicht ausfindig machen. Gauss hat zu diesem Zwecke einen besonderen Apparat eingerichtet, den Namen Bifilar-Magnetometer gegeben hat. Derselbe unterscheidet sich von dem gewöhnlichen Magnetometer nur durch das System der Aufhängung. Man denke sich eine Rolle einen dünnen Draht geschlungen und an den beiden hangenden Enden ein Gewicht befestigt; so werden in dem Gleichgewichtes beide Drähte senkrecht hängen und die Senkrechte, mitten zwischen diesen Fäden gedacht, den Schwerpunkt des Gewichtes treffen. Bringt man den Apparat in dieser Lage, mittelst einer Drehung um die Schwerlinie, so werden beide Drähte nicht mehr senkrecht und auch nicht in einer Ebene sein, und zugleich wird das Gewicht umgehoben. Es erhält folglich ein Bestreben zu der vorigen Lage zurückzukehren, welcher ein Drehungsmoment entspricht der Grösse des Ablenkungsbogens zunimmt*). Man betrachte ein bifilar aufgehängten Körper als ein um die Schwerlinie schwingendes Pendel betrachten. Gesetzt die Ebene der Aufhängung während der Ruhelage falle mit der Ebene der magnetischen Kraft zusammen und ein horizontaler Magnetstab bilde eine theil des aufgehängten Gewichtes, so werden die durch die Aufhängung bewirkte Richtungskraft und die magnetische Kraft unterstützen, die Ruhelage zu erhalten. Bei jeder anderen Stellung der Fäden wirkt die erstere Kraft der letzteren entgegen, so dass die Nadel durch die Magnetkraft aus ihrem Meridiane heraus und eine mittlere Stellung einzunehmen, worin beide Kräfte das Gleichgewicht halten. Durch passende Drehung der Aufhängungspunkte der Fäden gibt man nun der Nadel eine solche Stellung, dass sie mit dem magnetischen Meridiane einen rechten Winkel bildet. Der Erdmagnetismus äussert in dieser Stellung das Maximum seines Einflusses auf ihre Bewegung und die geringste Aenderung seiner Intensität bewirkt eine proportionale Veränderung des Drehungsmomentes MT , welche sich durch eine kleine Verrückung der Nadel geltend macht. Die Veränderungen der Declination oder der Richtung des magnetischen Meridians, bleiben dagegen ohne bemerkbaren Einfluss auf ihre Stellung, weil das dadurch geänderte Drehungsmoment dem Cosinus des Ablenkungswinkels proportional ist, da

*) Dieses Drehungsmoment ist unter Voraussetzung langer Drähte von der Ablenkung von der Ruhelage fast genau proportional und bei einer Ablenkung von 90° seinen grössten Werth. Letzteres ausserdem verkehrt wie die doppelte Fadenlänge, direkt wie das Quadrat des Abstandes beider Fäden und direkt wie das aufgehängte Gewicht. (Weber Result. etc. 1837 S. 1.)

sehr kleinen Winkels aber von der Einheit nicht merklich abweicht.

Bei der Untersuchung des Biflar-Magnetometers entdeckt man also die feinsten Veränderungen der magnetischen Intensität der Erde, ähnlich wie man mit dem Unifilar-Magnetometer die geringsten Schwankungen in ihrer Richtungskraft wahrnimmt. In der That zeigen beide Instrumente selten auch nur wenige Minuten hindurch einen ganz unveränderten Stand und liefern hierdurch den Beweis, dass sowohl die Richtung wie Stärke der magnetischen Erdkraft fortdauernden Störungen unterliegt.

Das Biflar-Magnetometer ist auch anwendbar, um die magnetische Stärke von Magnetstäben unter einander zu vergleichen. In Verbindung mit einem Multiplikator für galvanometrische Zwecke. Es bietet jedoch in dieser Beziehung keine Vorteile vor dem Unifilar-Magnetometer.

Beim Durchlesen dieses Abschnitts nicht schliessen, ohne zu erwähnen, dass man sich hauptsächlich durch die Bemühungen A. von Humboldt (Gilberts Ann. 1801 d. 1805 St. 7.) und Hansteen's in Christiania (Pogg. Ann. B. 28 S. 225) über die Veränderungen in der Stärke des Erdmagnetismus ziemlich gute Kenntnisse hatte, lange bevor man im Besitze von Mitteln war, die magnetischen Kräfte nach absolutem Maasse zu bestimmen. Um nämlich die Stärke des Erdmagnetismus an verschiedenen Orten kennen zu lernen, bedurfte es nur, die Schwingungen einer und derselben Magnetnadel an allen diesen Orten zu zählen. Die gesuchten Intensitäten mussten sich dann verhalten, wie die Quadrate der Schwingungszeiten. Die so gefundenen Werthe sind unmittelbar freilich nur unter einander vergleichbar. Hatte man jedoch die Schwingungsdauer mehrerer Nadeln von beständiger magnetischer Kraft an denselben Orte gemessen und die gefundenen Werthe unter einander verglichen, so war die Möglichkeit gegeben, alle späteren mit diesen Nadeln erhaltenen Resultate auf einerlei Maasseinheit zurückzuführen. Dieses Verfahren ist, wie man sieht, voraus, dass der freie Magnetismus der angewendeten Nadel sich ganz unverändert erhalte; eine Annahme, die allerdings nicht streng zu sein ist und auf lange Zeit hin jedenfalls nicht gelten kann. Durch die Zurückführung auf absolutes Maass ist man jetzt in den Stand gesetzt, die Beschaffenheit der Nadel, so oft es erforderlich scheint, einer ganz sicheren Controlle zu unterwerfen.

Das Instrument ist mit sicheren Hilfsmitteln, die die Gegenwart electricer Ströme zu erkennen und bis zu ihren letzten Spuren zu verfolgen, ihre Stärke zu messen, den Grad ihrer Beständigkeit, sowie die Dauer zu prüfen und endlich ihre magnetischen Wirkungen mit denen der Erde und des Eisens zu vergleichen, können wir uns zu einer umfassenden Untersuchung ihres Verhaltens überlassen.

Die electrochemische Zersetzung (Electrolyse).

13. Die Erzeugung eines galvanisch electricen Stroms erfordert die Verbindung zu einer geschlossnen Kette von wenigstens drei chemisch verschiedenen, die Electricität leitenden Kör-

pern, unter welchen wenigstens einer zusammengesetzt, a flüssig sein muss. In dieser zusammengesetzten Flüssig mit dem Beginne des Stroms eine sehr bemerkenswerthe rung vor, welche bei Strömen von einiger Stärke alsb: Augen fällt. Es werde z. B. eine Platinplatte und ihr g eine amalgamirte*) Zinkplatte in verdünnte Schwefelsäu taucht. So lange beide Metalle an keinem Punkte in B kommen, erhalten sie sich in der Flüssigkeit unveränder man aber Zink und Platin in unmittelbare Berührung br auch durch Vermittlung eines andern Metalls die Kette zeigt sich an der Oberfläche des Platins eine lebhaft G lung, während das Zink sichtbar angegriffen und nach aufgelöst wird. Das entwickelte Gas ist Wasserstoff. S säure muss also zersetzt worden seyn, ihr Radical SO_4 sich mit dem Zink, während Wasserstoff dafür ausg wurde. Verbindet man mehrere galvanische Paare zu sammengesetzten Kette, so zeigt sich ein ganz ähnliche ten in der Flüssigkeit eines jeden Gliedes derselben. W Kreis der zusammengesetzten Kette ein Gefäss mit Fl eingeschaltet, in welche zwei ganz gleiche Metallstreife chen, so geht nichts desto weniger auch hier eine Zerset sich. — Ein solches, für sich betrachtet, unwirksames G galvanischen Säule, nennt man vorzugsweise: die Zerse zelle.

Für die durch den electricischen Strom unmittelbar bew mische Zersetzung scheint der von Faraday gewäh Electrolyse allgemein angenommen worden zu seyn sammengesetzte Stoff selbst, welcher der Electrolyse t heisst Electrolyt.

Die meisten, wenn nicht alle zusammengesetzten Fl ten, welche zugleich Leiter der Electricität sind, könn Zersetzungszelle gebracht, durch den electricischen Strom werden. Sie sind jedoch nicht alle mit gleicher Leichti, setzbar.

Z. B. Jodkalium in Wasser aufgelöst, wird durch die K jeden einfachen electricischen Paares zersetzt.

Verdünnte Schwefelsäure in der Zersetzungszelle l wenigstens in auffallender Weise, nur unter dem Einflu kräftigen Electromotors in ihre näheren Bestandtheile S zerlegen.

Reines Wasser zersetzt sich noch weit schwierig

*) Man amalgamirt die Zinkplatten durch Eintauchen in aufgelö tersaures Quecksilber, oder auch indem man auf der mit verdünnter säure oder Salzsäure gereinigten Platte metallisches Quecksilber d ausbreitet. Amalgamirte Zinkplatten gleichwie chemisch reines Zn sich in Salzsäure und verdünnter Schwefelsäure unauflöslich.

des der Einwirkung starker galvanischer Batterien ausgedient.

Welche Flüssigkeit übrigens zersetzt werden mag, immer kann man, dass ihre Elemente getrennt von einander, das eine an die eine, das andere an der andern der eingetauchten Platten sich absetzen; mögen nun diese Platten einander nahe oder entfernt nebeneinander stehen. Man bemerkt zugleich, dass der electropositive Bestandtheil einer Verbindung (z. B. der Wasserstoff) an demjenigen Metallstreifen ausgeschieden wird, welchem die negative Electricität in die Flüssigkeit übertrifft, d. i. an dem negativen Pole oder an der negativen Seite; der electronegative Bestandtheil hingegen (z. B. Sauerstoff) an derjenigen Metallfläche, von welcher aus die positive Electricität eindringt, nämlich am positiven Pole der positiven Seite*).

Besitzt eine eingetauchte Metallplatte die Eigenschaft, sich an ihrer Oberfläche durch die Electrolyse ausgesonderten chemischen Elemente verbinden zu können, so geht diese Verbindung der Regel auch vor sich. Werden z. B. Zink- oder Kupferplatten in die verdünnte Schwefelsäure der Zersetzung überbracht, so entwickelt sich am negativen Pole Wasserstoff, und am positiven ein schwefelsaures Metallsalz gebildet wird. Auch man als negativen Pol eine oxydirte Substanz, welche Electricität leitet, z. B. Braunstein, so wird sie auf Kosten des entwickelnden Wasserstoffs desoxydirt. Taucht man aber Platten ein, so geht an beiden eine Gasentwicklung vor sich und man erhält man an der negativen Seite Wasserstoff, an der positiven Sauerstoff. Ist der Apparat so eingerichtet, dass beide Gase abgefangen werden können, und hatte man als Flüssigkeit ein Gemenge von reinem Wasser mit reiner Schwefelsäure gewählt, so zeigt sich das Verhältniss der Volumina von Wasserstoff und Sauerstoff wie 2 : 1. Lässt man beide Gase zusammen in

*) Die Pole einer geschlossenen galvanischen Kette, oder richtiger, die mit den verbundenen Begrenzungsflächen der Flüssigkeit in der Zersetzung verbunden werden von manchen Physikern nach dem Vorgange Faraday's: die Electropositive genannt. Die Fläche der Flüssigkeit selbst, da wo sie die positive Electricität übertrifft, also diejenigen Begrenzungsflächen, von welchen aus die positive Electricität eindringt, heisst Anode, da wo sie die negative Electricität übertrifft, Kathode. Den Elementen des sich zersetzenden Stoffes, des Electropositiven nach dieser Terminologie der Name Ionen gegeben; der electronegativen Bestandtheil (der an der Anode sich ausscheidende) für sich betrachtet Anion, der electropositive Bestandtheil Kation.

*) Diese Namen sind in der vorliegenden Schrift nicht adoptirt worden, weil unrichtige Bezeichnungen, die statt anderer bereits üblich geworden gebräuchlich sind, ohne doch etwas wirklich Neues zu sagen und ohne etwas zu erröthen, wohl Verwirrung, aber kein Nutzen für die Wissenschaft entspringen

ein Eudiometer gehen und entzündet sie dann durch den electrischen Funken, so verschwinden beide vollständig. Durch die Electrolyse hatten sich also gleiche Aequivalente Wasserstoff und Sauerstoff gebildet.

In allen übrigen, Flüssigkeit enthaltenden Zellen, welche Glieder einer Säule ausmachen, geht die electrochemische Zersetzung ganz in demselben Sinne vor sich, wie in der vorzugsweise so genannten Zersetzungs-Zelle; an der Seite, von welcher die positive Electricität einströmt, tritt das negative Element der zersetzten Verbindung auf, auf der gegenüberstehenden Seite das positive Element. Dieses Verhalten bemerkt man selbst in der Flüssigkeit solcher Zellen, die einer electrischen Säule in verkehrter Ordnung eingeschaltet worden sind.

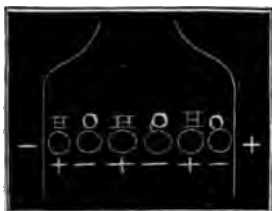
Füllt man z. B. in dem Volta'schen Becherapparate (Fig. 130 S. 273) sämtliche Gefässe mit verdünnter Schwefelsäure und schliesst die Kette durch Verbindung der beiden Enden, so entwickelt sich Wasserstoff an allen Kupferplatten, während an allen Zinkplatten schwefelsaures Zink gebildet wird. Vertauscht man eine Zinkplatte mit einer Platinplatte, so tritt Sauerstoffgas an derselben auf. Kehrt man ein einzelnes Metallpaar um, d. h. bringt man seinen Kupferstreifen an die Stelle, welche der Ordnung nach der damit verbundene Zinkstreifen einnehmen sollte, und folglich das Zink an die Stelle des Kupfers, so scheidet sich an dem verkehrt eingereihten Zink Wasserstoff ab, und das Metall bleibt unauflöslich, während alle übrigen Zinkplatten aufgelöst werden; an dem verkehrt eingeschalteten Kupfer wird schwefelsaures Kupfer gebildet. Kurz je nach der Stellung, die man einem Metalle in der electrischen Kette gibt, lässt sich seine Einwirkung auf die Flüssigkeit begünstigen und aufhalten; und diess selbst in solchen Flüssigkeiten, auf welche es unter gewöhnlichen Umständen ganz wirkungslos erscheint. Die meisten Metalle, mit Ausnahme von Gold und Platin, als positives Ende einer kräftigen Kette, können sogar in reinem Wasser und bei Abschluss der Luft oxydirt werden.

Man kann sich von der electrochemischen Zersetzung durch die folgenden theoretischen Betrachtungen Rechenschaft geben: Ungleiche Stoffe gelangen im Augenblicke der Berührung in einen entgegengesetzt electrischen Zustand, oder sie nehmen eine bestimmte electriche Differenz an, die sich, so lange die Berührung währt, unveränderlich erhält (344). Dieser Satz für Körper von messbarer Grösse als richtig erkannt, muss für ihre kleinsten unmessbaren Theile, für die Atome selbst, eine gleiche Geltung haben. Nun ist jede chemische Verbindung eine Nebeneinanderlagerung ungleichartiger Elemente, z. B. in einem Atom Wasser ist ein Atom Wasserstoff neben ein Atom Sauerstoff gelagert. Das eine dieser Elemente muss sich daher fortdauernd im positiv electrischen Zustande, das andere fortdauernd im negativ electrischen Zustande befinden; und zwar lehrt das Gesetz der Spannungsreihe (346), dass der Sauerstoff oder der in der chemischen Verbindung die Rolle desselben übernehmende Stoff — E , der andere dem Kalium verwandtere oder dessen Stelle vertretende — E enthält. In dem Wasserelemente z. B. ist H positiv, O negativ electrisch.

So wie der flüssige Leiter in den Kreis des electrischen Stroms gelangt,

werden seine Elemente je nach ihrer besonderen electricischen Beschaffenheit von den eingetauchten Polplatten angezogen und die leicht beweglichen flüssigen Theile werden dadurch genöthigt, sich nach der in Fig. 154 angedeuteten Weise

Fig. 154.



zu ordnen. Von diesem Augenblicke an tritt jedes Atom der Flüssigkeit in ganz gleiche Beziehung zu den einen oder andern der beiden benachbarten Atome; es kann eben so wohl mit dem einen wie mit dem andern verbunden betrachtet werden. In eine ähnliche Beziehung treten die äusseren Sauerstoff- und Wasserstoffatome zu den kleinsten Theilchen der eingetauchten Metallplatten, womit sie in Berührung kommen. Auf diesen Polplatten bemerkt man aber, als Folge der electromotorischen Thätigkeit, ein Uebergewicht der electricischen Anhäufung (365). Man hat Grund anzunehmen, dass

dadurch ihre chemische Anziehung zu den entgegengesetzt electricischen Elementen der Flüssigkeit verstärkt wird, bis sie die entgegenwirkende Anziehung der gleichartig electricisirten Elemente überwiegt; ihre Verbindung, wenn überhaupt möglich, muss daher vorzugsweise erfolgen. Reist nun vermöge dieser gesteigerten Wirksamkeit z. B. die in das Wasser eingetauchte positive Polfläche die benachbarten Sauerstofftheile an sich, so findet die Affinität der früher mit diesem Sauerstoffe verbundenen Wasserstoffatome Befriedigung in der Anziehung der zunächst liegenden noch nicht ausgeschiedenen Sauerstofftheile, deren Wasserstoff sich dann wieder auf die folgenden Sauerstoffatome wirft u. s. f., bis zu len an der negativen Gränzfläche anlehenden Wasserstofftheilen, die sich mit der Substanz jener Gränzfläche verbinden streben. Kann diese Verbindung nicht vor sich gehen, so muss sich die eingetauchte Platte, vermöge der wechselseitigen Anziehung entgegengesetzt electricisirter Theilchen gleichwohl mit einer Schicht Wasserstoff überziehen. Alle später aus ihrer Verbindung mit dem Sauerstoffe austretenden Wasserstoffatome finden also gar keine freien Metallpunkte mehr vor, von welchen sie festgehalten werden können; sie entwickeln sich in Gasform, indem sie ihre freie $+E$ auf die die Metallplatte umhüllende und eben dadurch mit freier $-E$ beladene Wasserstoffschicht absetzen, und aus dem sogenannten Erzeugungszustande (*status nascens*) in den gewöhnlichen Zustand übergehen. Nach dieser Vorstellungsweise ist Leitung der Electricität durch eine zersetzbare Flüssigkeit nichts anderes als eine Uebertragung der ursprünglich in jedem Atom der Verbindung enthaltenen Electricitätsmenge von Atom zu Atom, und man gelangt zu der weiteren Folgerung, dass die Menge der fortgeleiteten Electricität gleichen Schritt halten müsse mit der Quantität der Zersetzung. Für die Richtigkeit dieser Folgerung werden wir später einen directen Beweis erhalten.

386. Die Electrolyse ist stets von einer Ueberführung von einem Pole zum andern wenigstens des einen der Bestandtheile der zerlegten Verbindung begleitet. Um diese Erscheinung

Fig. 155.



deutlich wahrnehmen zu können, muss man der Zersetzungszelle eine Einrichtung, etwa so wie die Figur 155 andeutet, geben. *a* und *b* sind offene Glaszylinder, die man in die Flüssigkeit der Zelle zu beliebiger Tiefe eintaucht; der eine ist bestimmt, um die positive Polplatte, der andere um die negative Polplatte einer kräftigen galvanischen Batterie aufzunehmen.

Gesetzt dieses Gefäss enthält verdünnte Schwefelsäure, so verschwindet die saure Reaction in der Umgebung des negativen

Pols nach und nach vollständig. Hatte man die untere Oeffnung des Rohrs *a* mit Blase umbunden, welche den Durchgang der Electricität nicht hindert, ohne doch eine unmittelbare Vermischung der inneren mit der äusseren Flüssigkeit zu gestatten, so concentrirt sich die Säure in *a*, während die in *b* fortgeht. — Ist die der Zersetzung unterworfenen Flüssigkeit eine Lösung von Glaubersalz oder von irgend einem andern alkalischen Salze, so geht nach und nach alles Alkali von *a* nach *b*, die Säure von *b* nach *a*. Bringt man aber ein Ammoniaksalz oder die Auflösung eines schweren Metalles, z. B. Kupfervitriol, in die Zelle, so wird nur die Säure fortgeführt und verschwindet in dem Rohre *b* gleichzeitig mit dem Kupfer, das ausgefällt wird, ohne dass sich die Menge des Kupfers in der Nähe des positiven Pols merklich vermindert. Hat man das Rohr *b* mit Blase umbunden und vor Anfang des Versuchs mit reinem Wasser gefüllt, so scheidet sich unmittelbar an der Grenzfläche beider Flüssigkeiten Kupferoxyd ab, in sehr geringer Menge zwar, aber allmählig aufwärts wachsend gegen die Polplatte hin, an welcher sich Wasserstoffblasen absetzen. Auf dieselbe Weise verhalten sich auch andere Metallsalze, deren Basen in Wasser unauflöslich sind, wie Manganoxydul, Eisenoxydul, Zinkoxyd, Bittererde u. s. w. Man muss hieraus schliessen, dass ihre metallischen Radicale doch nicht ganz unfähig sind, während des electrischen Zersetzungsprocesses fortgeführt zu werden.

387. Gewöhnlich findet man, dass die chemische Zersetzung in der geschlossnen Kette gleich nach der Schliessung am raschesten vor sich geht, nach kurzer Zeit aber sehr auffallend abnimmt. Hat man ein Galvanometer eingeschaltet, so zeigt sich eine gleichzeitige Abnahme in dessen magnetischer Wirksamkeit. Diese Verminderung erreicht in vielen Fällen einen kleinsten Werth, bei welchem dann die Stromstärke längere Zeit (z. B. bei Anwendung von Zink und Kupfer in verdünnter Schwefelsäure, bis zur völligen Abstumpfung der letzteren) ziemlich unveränderlich anhält. Oft bemerkt man aber auch eine fortdauernde Abnahme, zuweilen bis zum gänzlichen Verschwinden des Stroms.

Die Stromstärke nimmt wieder zu, wiewohl selten bis zur anfänglichen Grösse, wenn man die Kette eine kurze Zeit geöffnet lässt. Die ganze anfängliche Stärke wird gewöhnlich nur dann wieder erreicht, wenn die Metallplatten, hauptsächlich diejenigen auf der negativen Seite jeder Zelle herausgenommen und sorgfältig gereinigt werden.

Metallplatten, deren electriche Erregungsfähigkeit auf die beschriebene Weise verändert worden ist, nennt man polarisirt. Dieser Name ist in Gebrauch gekommen, lange bevor man die Natur jener Veränderung deutlich erkannt hatte. Jetzt weiss man, dass die sogenannte electrochemische Polarisation durch den Absatz irgend fremdartiger Stoffe herbeigeführt wird, die auf den

der Flüssigkeit befindlichen Metallplatten in Folge der Electrolyse ausgeschieden werden.

Man tauche z. B. ein Paar Zink-Kupferplatten einander gegenüber in eine concentrirte Lösung von Zinkvitriol und verbinde sie durch Vermittlung des Multiplicatordrahts. Es zeigt sich ein Strom, Anfangs von bedeutender Stärke, der aber rasch abnimmt und allmählig aufhört. Dabei bedeckt sich das Kupfer mit metallischem Zink und wird davon nach und nach weiss (oder bei Erwärmung der Flüssigkeit, durch Bildung von Messing, gelb) gefärbt; während die Zinkplatte bemerkbar angegriffen wird und an Gewicht erliert. Unter dem Einflusse der electromotorischen Kraft, erregt bei der Berührung des Zinks mit Kupfer, war also das erstere verunreinigt worden, den Zinkvitriol zu zersetzen und sich seiner Schwefelsäure zu bemächtigen, während das hierdurch aus der Flüssigkeit ausgesonderte Zink auf dem Kupfer niedergeschlagen wurde. Diese Wirkung musste jedoch aufhören, sobald beide Metalle eine gleichartige Oberflächen-Beschaffenheit angenommen hatten.

Wird in einer galvanischen Kette Wasser oder eine wässrige Verbindung zersetzt, so umhüllt sich die electronegative Gränzfläche der Kette mit Wasserstoff, ähnlich, wie vorher das Kupfer mit Zink. Wenn man eine solche durch Wasserstoff polarisirte Metallplatte mit einer andern, reinen übrigens gleichartigen Platte zu einer Kette schliesst, so entsteht ein bald wieder erlöschender Strom, wobei die mit Wasserstoff umgebene Metallseite die Stelle des Zinks übernimmt. Das Zink selbst, nachdem sich Wasserstoff daran abgelagert hat, verhält sich reinem Zinke gegenüber auf kurze Zeit wie ein electropositiveres Metall. Dieses Verhalten wird aber nur durch die Gegenwart des Wasserstoffs bedingt und hört wieder auf, so wie letzterer verschwunden ist. Der Wasserstoff behauptet folglich in der Spannungsreihe eine dem Kalium näher liegende Stelle als das Zink. — Man begreift nunmehr, dass der Wasserstoff, sobald er sich an dem electronegativen Metalle (an der Kupfer- oder Platinplatte) abzuschneiden beginnt, die vorherige Richtung der electromotorischen Thätigkeit umzudrehen, d. h. eine Kette in der Ordnung Wasserstoff, Flüssigkeit, Zink, Platin, Wasserstoff (anstatt der früheren Ordnung: Zink, Flüssigkeit, Platin, Zink) zu bilden strebt, deren Wirksamkeit, insofern das Platin sich mit einer Hülle von Wasserstoff vollständig umgeben konnte, der electrischen Differenz des Wasserstoffs bei unmittelbarer Berührung mit dem Zinke entsprechen muss (347). Eine solche vollständige Umkehrung des primären Stroms, hervorgerufen durch eine sekundäre electromotorische Thätigkeit, kann unter gewöhnlichen Umständen begreiflicher Weise nicht eintreten. Sie kann aber vorübergehend erhalten werden, wenn man eine Platinplatte in reinem Wasser zuerst als — Pol einer kräftigen Batterie anwendet, und dann in derselben Flüssigkeit mit Zink zu einer Kette

verbindet. D. h. man erhält unter diesen Umständen einen Strom, der anfangs von dem Platin durch die Flüssigkeit zum Zinke übergeht, dann nach und nach abnimmt, verschwindet und endlich nach einer kurzen Zeit des Stillestandes die Nadel, mit geringer Kraft, jedoch bleibend nach der andern Seite ablenkt.

Die Erregungsfähigkeit des Platins wird in umgekehrtem Sinne verändert, es wird entgegengesetzt polarisirt, wenn sich Sauerstoff daran absetzt. Sein Vermögen, andere Metalle bei der Berührung electropositiv zu erregen, wird nämlich scheinbar dadurch gesteigert; in der That aber ist es die Sauerstoffhülle, von welcher diese erhöhte Wirksamkeit herrührt.

Zwei Platinplatten, von denen die eine mit Wasserstoff, die andere mit Sauerstoff polarisirt ist, in verdünnter Schwefelsäure einander gegenübergestellt und metallisch verbunden, verhalten sich einige Augenblicke wie eine Wasserstoff-Sauerstoffkette, deren electromotorische Kraft, wegen des weiten Abstandes dieser Stoffe in der Spannungsreihe, von sehr beträchtlicher Grösse ist. Aus mehreren Elementen dieser Art in gleichem Sinne hinter einander geordnet, lassen sich Säulen von sehr bedeutender Wirksamkeit, aber freilich nur kurzer Dauer errichten. Poggendorff ist es durch eine sinnreiche Vorkehrung gelungen, die Polarisation der Platinplatten während des Gebrauchs immer wieder zu erneuern und er hat dadurch die Kraft einer solchen Wasserstoff-Sauerstoffsäule wirklich nutzbar zu machen gewusst (Pogg. Ann. 60. S. 568). Auf der Polarisation der Metallplatten beruhen alle Eigenschaften der von Ritter entdeckten sogenannten Ladungssäule. Eine Anzahl gleichartiger Metallplatten, z. B. Kupferplatten, abwechselnd mit feuchten Pappscheiben zusammengeschiedet, werden eine Zeitlang in den Kreis der Säule oder auch nur zwischen beide Conductoren einer kräftigen Electrisirmaschine gebracht; wodurch sie auf kurze Zeit das Verhalten einer selbstthätigen electrischen Säule annehmen.

Platinplatten, die sich durch Eintauchen in Sauerstoff- oder Wasserstoffgas mit einer Schicht des einen oder andern dieser Stoffe bekleidet haben, verhalten sich ähnlich wie das durch Electrolyse polarisirte Platin; und überhaupt nimmt eine jede Metallplatte, die auf irgend welche Weise mit einer noch so dünnen Schicht eines fremdartigen Stoffes bedeckt worden ist, ganz dieselbe Beschaffenheit an, wie wenn sie durch denselben Stoff auf electrochemischem Wege polarisirt worden wäre.

Da nun die Oberflächen der Körper selten ganz rein und selbst dann, wenn es dem Auge nicht unmittelbar auffällt, meistens dennoch mit Spuren fremdartiger Stoffe bedeckt sind; so wird es begreiflich, dass selbst gleichartige Metalle, z. B. zwei Streifen aus demselben Stücke geschnitten, wenn sie neben einander in einer Flüssigkeit gesenkt und durch die Enden eines empfindlichen Mul-

licators verbunden werden, häufig eine bemerkbare Ablenkung der Nadel bewirken, die jedoch in den meisten Fällen nur von kurzer Dauer ist. Eine solche vorübergehende electriche Wirkung kann sogar schon durch ungleichzeitiges Eintauchen übrigen gleichartiger Metallstreifen herbeigeführt werden. (Ann. der Chem. u. Pharm. B. 34. S. 241.)

388. Die Aenderungen, welche an den Oberflächen der Körper unter dem Einflusse der electriche Kraft vorgehen, verändern häufig auch ihr chemisches Verhalten. Für die meisten Metalle ist Salpetersäure ein wirksames Oxydations- und Auflösungs-mittel; bei mehreren derselben wird aber durch die Berührung mit Zink und die Erregung eines Stroms, der von diesem Metalle durch die Flüssigkeit zum andern übergehend, an dem letzteren die Ausscheidung von Wasserstoff bedingt, jene Einwirkung, solange die Berührung währt, ganz unterbrochen. So verhält sich auch Eisen, das Blei, das Kupfer, das Silber u. s. w. Aus demselben Grunde werden Gold und Platina, durch die Berührung mit einem electropositiveren Metalle verhindert sich in Salpeter-Salzsäure zu lösen. Das von H. Davy ersonnene Mittel: den Kupferbeschlag der Schiffe durch Zink vor dem Anfressen des Seewassers zu hüten, beruht eben auf diesem Principe.

Wenn einerseits die Oxydation des electronegativen Metalls an der galvanischen Kette mit dem Beginne des Stroms aufgehoben wird selbst ganz gehindert wird, so zeigt andererseits der electropositive Bestandtheil ein um so mächtigeres Bestreben, den Sauerstoff aufzunehmen. So ist die Affinität des Zinks für sich nicht gross genug, um dem Wasser seinen Sauerstoff entziehen zu können, denn chemisch reines Zink wird in verdünnter Schwefelsäure leicht angegriffen. Die Auflösung beginnt aber sogleich, wenn es innerhalb der Flüssigkeit mit einem electronegativeren Metalle in Berührung wird. Das gewöhnliche Zink des Handels ist, wie man weiss, sich schon sehr leicht löslich. Es enthält aber ziemlich viel Wasserstoff und Eisen eingemengt, und diese Gemengtheile, überall wo sie an die Oberfläche, also zugleich mit dem Zinke und der Flüssigkeit in Berührung treten, geben Veranlassung zu electriche Strömen und erhöhen dadurch die Oxydirbarkeit des Zinks. Es scheint dass der Nutzen des Amalgamirens wesentlich darauf beruht, dass dadurch rings um die äusserste Oberfläche der Zinkplatte eine Legirung von ganz gleichförmiger Beschaffenheit erzeugt wird, während Kohle und Eisen, die sich mit Quecksilber nicht verbinden können, entweder ganz ausgeschieden oder zurückgedrängt werden.

Hierher gehört auch der eigenthümliche Zustand chemischer Inaktivität, welchen mehrere Metalle unter gewissen Bedingungen gegen Flüssigkeiten zeigen, die sie unter gewöhnlichen Umständen zersetzen. Das Eisen z. B. wird, wie bekannt, von der

käuflichen Salpetersäure von 1,35 spec. Gewicht heftig angegriffen; zuweilen aber bemerkt man, dass diese Einwirkung ohne irgend äusseres Zuthun plötzlich unterbrochen wird und dass dann das Eisen mitten in der Flüssigkeit eine glänzende Metallfläche annimmt und beibehält. Durch wiederholtes Eintauchen und Herausnehmen aus der Säure lässt es sich sehr leicht in diesen unwirksamen Zustand überführen. Senkt man einen Eisendraht, der mittelbar oder unmittelbar mit Platin in metallischer Berührung steht, in der Weise in die Salpetersäure, dass das letztere Metall zuerst eingetaucht wird, so behält er gleich von Anfang seinen Metallglanz. Sind beide Metalle durch den Multiplicatordraht verbunden, so zeigt sich anfangs ein starker, rasch abnehmender Strom, der jedoch, nachdem ein gewisses Minimum erreicht ist, sich Tage lang unverändert erhält. Seine Richtung, vom Eisen durch die Säure zum Platin gehend, deutet auf eine langsame Zersetzung der Flüssigkeit, nämlich Oxydation des Eisens und Ausscheidung von Wasserstoff am Platin. In der That vermindert sich allmählig das Gewicht des Eisens, z. B. 5 Grm waren nach 8 Tagen um 0,42 Grm leichter geworden, und endlich, bei sehr lange Zeit fortgesetzter Einwirkung löst es sich, ungeachtet der fortdauernden Berührung mit dem Platin, vollständig auf.

Nimmt man einen solchen unthätigen Eisendraht als Ausgangspunkt einer stärkeren electricischen Kette, jedoch unter Beibehaltung der früheren Richtung des Stroms, so oxydirt er sich sichtbarer, in gewöhnlicher Salpetersäure unter Entwicklung von Stickstoffoxydgas, in sehr stark verdünnter Säure unter Entwicklung von Stickstoffoxydulgas, aber niemals unter Entbindung von Sauerstoff. (Ann. d. Ch. u. Pharm. 34. 258.) Unthätiges Eisen hält sich auch in salpetersaurem Silber und schwefelsaurem Kupfer mehrere Stunden hindurch ganz unverändert. Wird es aber mit gewöhnlichem Eisen oder besser mit Zink berührt, oder hatte es nur einen Augenblick als negativer Pol einer Säule gedient, so dass sich Wasserstoff daran absetzen musste, so wird es sogleich wieder, wie gewöhnliches Eisen, von der Säure angegriffen. Gewöhnlich reicht Abwaschen mit Wasser oder Abwischen mit Filtrirpapier hin, um den Zustand der Unwirksamkeit aufzuheben. Diese Eigenschaft gehört übrigens dem Eisen nicht ausschliesslich an, Antimon, Wismuth, Zinn, Silber, Blei und selbst Kupfer verhalten sich auf ähnliche Weise. Alle diese Metalle besitzen keine sehr grosse Verwandtschaft zum Sauerstoff und die Verbindungen ihrer Oxyde mit Salpetersäure zeigen nur geringe Innigkeit. In concentrirter Salpetersäure von 1,5 spec. Gewicht erhalten sie sämmtlich unverändert und werden von dieser Säure wie bei der Berührung mit Sauerstoff electropositiv erregt. Die Folgerung liegt daher nahe, dass wenn durch irgend welche electricische Thätigkeit die Elemente der Salpetersäure eine Richtung erhalten

wodurch vorzugsweise die Atome ihres electronegativen Radicals (NO_2) mit dem eingetauchten Metalle in Berührung kommen und daran haften, die so veränderte Metallfläche sich in wasserhaltiger Salpetersäure ähnlich wie in der concentrirten verhalten müsse.

Dieses Verhalten ist schon vor dem Jahre 1827 von Wetzlar beobachtet und seinen Hauptpuncten nach von ihm und später von Herschel studirt worden. Nach der Hand haben sich auch andere Physiker, insbesondere Schönbein (Pogg. Ann. Jahre 36—38.), damit beschäftigt. Letzterer hat es durch den Namen Passivität noch besonders hervorheben zu müssen geglaubt.

389. Es liegt in der Natur der Sache, dass, wenn verschiedenartige feste Körper in irgend welche zusammengesetzte Flüssigkeit eingetaucht werden, das Bestreben ihrer Oberflächen, auf die Bestandtheile dieser Flüssigkeit chemisch einzuwirken, in der Regel ungleich seyn wird. Z. B. Zink in Wasser oder verdünnte Schwefelsäure getaucht, richtet seine Anziehung vorzugsweise gegen den Sauerstoff derselben, bei dem Platin fällt eine vorherrschende Einwirkung auf den einen oder andern Bestandtheil nicht demselben Grade auf. Das Resultat der wechselseitigen electricen Erregung einer Flüssigkeit und eines eingesenkten einfachen Stoffes hängt wesentlich von der Art der chemischen Beziehungen des letzteren zu den verschiedenen Bestandtheilen der ersteren ab, und kann daher mit den für die Spannungsreihe geltenden Gesetzen nicht übereinstimmen. Das Zink z. B., eben weil es den Sauerstoff vorzugsweise anzieht, trachtet die Atome des Wassers in dem Sinne *HOZ* zu ordnen; mit dem in Nr. 355. S. 273 beschriebenen Condensator geprüft, erscheint es daher beim Kontakte mit Wasser negativ electricisch, das Wasser positiv. Hieraus ist aber nicht zu schliessen, dass Platin, welches schon durch die Berührung mit Zink negativ wird, es nun durch die Berührung mit Wasser in noch höherem Grade werden müsse, weil wegen seiner ungleich weniger ausgeprägten Verwandtschaften nicht anzunehmen ist, dass es eine Lagerung der kleinsten Theilchen ähnlich der vorher angedeuteten, in gleichem Maasse zu entwickeln vermöge.

Taucht man zwei Metalle zusammen ein und verbindet sie zur Kette, so wirkt ihre wechselseitige electriche Erregung bald fördernd, bald hemmend auf ihre natürlichen Beziehungen zu den Bestandtheilen der Flüssigkeit. Immer aber wird das eine Element der letzteren vorzugsweise von der einen Seite, das andere vorzugsweise von der andern Seite angezogen werden müssen; d. h. ein Bestreben bleibt vorwaltend, die ungleichartigen Atome in ihrem gewissnen Sinne zu lagern, z. B. in der Platin-Zink-Wasserkette, in der Ordnung: Platin, Wasserstoff, Sauerstoff, Zink, Platin. In dem Maasse als eine solche Ordnung sich entwickeln hat, stellt sich das gestörte Gleichgewicht wieder her, die Bewegung hört auf.

Beispiel: Man stelle ein Plattenpaar, Platin und amalgamirtes Zink, in chemisch reinem Wasser und unter Abschluss der Luft einander gegenüber; man schliesse die Kette durch den Multipliatordraht. Der hierdurch gebildete Strom nimmt bald ab, so dass nach einiger Zeit nur noch eine Spur desselben zurückbleibt. Das Zink (weil es sich mit einer Sauerstoffhülle umgeben hat) verhält sich dann gegen anderes noch ungebrauchtes Zink wie ein electronegativeres Metall; das Platin zeigt das umgekehrte Verhalten. Befindet sich die geschlossene Kette in einem luftleeren Raume, so bemerkt man von Zeit zu Zeit das Aufsteigen eines Gasbläschens von dem Platinstreifen; an dem Zinke kommen nach längerer Zeit Spuren von weissem Zinkoxyd zum Vorschein. Es geht also eine, zwar äusserst langsame aber fortdauernde Wasserzersetzung vor sich. In gewöhnlichem Wasser, oder in verdünnter Säure verbindet sich das Zink schneller mit dem gegen seine Oberfläche gerichteten Sauerstoff; die Richtung, nach welcher die von den Metallplatten ausgehende Anziehung die Elemente der Flüssigkeit zu ordnen strebt, wird daher in dem Maasse, als sie sich entwickelt, immer wieder unterbrochen. Die Folge ist: ein verstärkter Strom.

Die Fortdauer des galvanisch electrischen Stromes ist also nicht nur an das Vorhandenseyn einer electromotorischen Kraft, der eigentlichen Triebfeder desselben, sondern wesentlich auch an die electrochemische Zersetzung geknüpft, weil ohne diese die einfachen Elemente der Kette sich allmählig nach einer durch ihre wechselseitige Anziehung bedingten Ordnung an einander reihen müssen, wodurch eine der anfangs vorhandenen electromotorischen Thätigkeit an Grösse gleiche, in der Richtung aber entgegengesetzte Kraft gebildet wird.

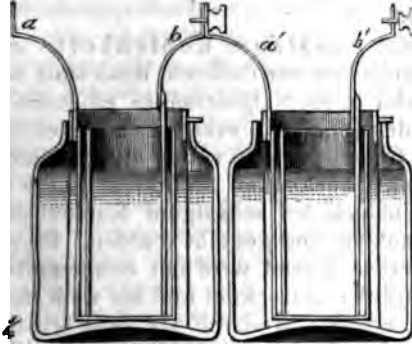
Gelingt es, den in Folge der Electrolyse an der Platinfläche ausgesonderten Wasserstoff und im allgemeinen den electropositiven Bestandtheil der Flüssigkeit, in demselben Verhältnisse als er sich absetzt, ebenfalls sogleich wieder zu entfernen, so muss die ursprüngliche electromotorische Kraft ihre anfängliche Stärke ungeschwächt beibehalten, und eben so unverändert erhält sich die Stromstärke.

Man nähert sich dieser Bedingung durch Zusatz einer oxydierenden Substanz zu der Flüssigkeit, z. B. durch Beimischung von Salpetersäure oder durch wiederholtes Benetzen der Platinplatte mit dieser Säure.

Vollständiger erreicht man diesen Zweck durch Anwendung von zwei passend gewählten, durch eine poröse Scheidewand getrennten Flüssigkeiten. Unter vielen im Allgemeinen brauchbaren Zusammenstellungen, werden bis jetzt drei vorzugsweise angewendet, weil sie sich erfahrungsmässig als die ausgiebigsten oder bequemsten zum Gebrauche ausgewiesen haben. Man nennt

sie nach den Namen ihrer Erfinder: die Daniell'sche, Grove'sche und Bunsen'sche Kette.

390. Die Daniell'sche oder constante Kupferkette. Die Fig. 156.



Figur 156 gibt einen Durchschnitt von zwei Elementen oder Gliedern dieses electromotorischen Apparates. Bestandtheile eines einzelnen Gliedes sind: ein cylindrisches Glasgefäß, welches eine gesättigte Auflösung von Kupfervitriol enthält; hineintaucht eine cylindrisch gebogene, blank geschleuerte Kupferplatte; sie umschliesst eine ebenfalls in die Kupferlösung eingesenkte, poröse, mit verdün-

ner Schwefelsäure gefüllte Thonzelle, in welche wieder eine cylindrisch gebogene, amalgamirte Zinkplatte eingetaucht ist. Ein anderer letzterer angelötheter Kupferstreifen *b* wird mit einem ähnlichen Streifen *a'*, oder nach Befinden mit dem Kupfer des ersten Elementes selbst unmittelbar metallisch verbunden. Während die Kette einfach oder mehrgliedrig geschlossen ist, löst sich das Zink auf Kosten der Schwefelsäure; der hierdurch frei werdende Wasserstoff verbindet sich mit einer proportionalen Menge Schwefelsäure es Kupfervitriols und metallisches Kupfer scheidet sich an der Kupferplatte ab. Beide Metalloberflächen so wie die Flüssigkeiten behalten also ihre anfängliche Beschaffenheit wesentlich unverändert und der circulirende Strom bleibt constant. Um den Ursprungsstand auch hinsichtlich der chemischen Beschaffenheit der Flüssigkeiten möglichst dauernd zu erhalten, bringt man von Zeit zu Zeit Stücke von ungelöstem Kupfervitriol in das Glasgefäß, oder setzt gleich von Anfang einen beträchtlichen Ueberschuss davon zu, der sich dann allmählig auflöst, nach Maassgabe als Kupfer metallisch ausgeschieden wird. Die dauernde Stärke des Stroms wird auch noch dadurch begünstigt, dass die von dem Kupfervitriol freigewordene Schwefelsäure durch Endosmose in die Thonzelle über gezogen wird, während Kupfer- und Zinklösung durch die poröse Wand weit weniger schnell zu einander übertreten.

391. Die Grove'sche oder constante Platinette, unterscheidet sich in der Durchschnittszeichnung nicht wesentlich von der vorhergehenden. Statt der Kupferlösung enthält das Glas Salpetersäure, je concentrirter desto besser, statt des Kupfers, Platin. Der obere Rand der Platinplatte ist an einem Kupferringe angelö-

thot, welcher mittelst drei eingelötheter Stifte auf dem Rand des Glases ruht. Alles übrige wie vorher. Der durch Auflösung des Zinks freigewordene Wasserstoff oxydirt sich sogleich wieder auf Unkosten der Salpetersäure, wodurch die Platinplatte im ursprünglichen Zustande erhalten wird, so lange noch Salpetersäure in hinlänglicher Menge vorhanden ist.

392. Die Bunsen'sche oder constante Kohlenkette unterscheidet sich von der Grove'schen nur dadurch, dass statt des Platins ein hohler Kohlenzylinder in die Salpetersäure eingesenkt



Fig. 157. wird. Diese Cylinder (Fig. 157) erhält man aus einem fein gepulverten Gemenge von völlig ausgeglühten Coaks mit möglichst backenden Steinkohlen, die in Formen von Eisenblech bei mässigem Kohlenfeuer zusammengeschmolzen und geglüht werden. Die so erhaltene sehr poröse Masse wird mit concentrirter Zuckerlösung getränkt, getrocknet und bis zum starken Weissglühen erhitzt, wodurch sie eine grosse Festigkeit und electricische Leitfähigkeit gewinnt. Die genauere cylindrische Form ertheilt man ihr auf der Drehbank. Der obere Rand des Kohlenzylinders, so weit er über das Glas hervorragt (etwa 1 Zoll hoch) wird in Wachs getränkt, wodurch, ohne die Leitfähigkeit bemerkbar zu schwächen, das Eindringen der Salpetersäure bis an diesen Theil der Kohle gehindert wird. Näheres über die Zubereitung dieses Materials findet man in Pogg. Ann. B. 55. 265. Während des Gebrauchs umschliesst den oberen Rand des Cylinders ein Kupfering, dessen Innenfläche durch Anziehen der Schraube *s* so stark wider die Kohle gedrückt wird, als erforderlich, um der Electricität eine genügende Anzahl Uebergangspuncte zu bieten.

393. Die drei beschriebenen electricischen Ketten haben jede ihre eigenthümlichen Vorzüge, sie unterscheiden sich von allen früher bekannten Formen der Volta'schen Säule nicht nur durch ihre ungleich grössere Wirksamkeit, sondern hauptsächlich, dass sie diese Wirksamkeit mehrere Stunden und in so fern nur schwache Ströme erfordert werden, selbst mehrere Tage hindurch mit fast unveränderlicher Stärke beibehalten können; sie machen dadurch alle früher bekannten hydroelectricischen Combinationen ganz überflüssig. Die Grove'sche und Bunsen'sche Kette zeigen unter Voraussetzung gleicher Dimensionen eine fast gleich grosse Wirksamkeit; diejenige der Daniell'schen Kette ist unter derselben Voraussetzung beträchtlich geringer. Dagegen empfiehlt sich die Kupferkette durch ihre völlige Geruchlosigkeit während des Gebrauchs sehr vortheilhaft vor den beiden andern, welche, nachdem sie einige Zeit im Gange waren, salpetrige Säure in grosser Menge aushauchen. Da sich diese Säure aus der porösen Kohle nicht leicht entfernen lässt, so erfordert die Aufbewahrung nach dem

brauche ein besonderes von anderen physikalischen Apparaten renntes Local*). Uebrigens eignet sich die Kohlenkette durch eine grosse Wirksamkeit bei geringem Geldwerthe vorzugsweise grösseren galvanischen Batterien.

Neuerdings hat Wheatstone (Pogg. Ann. B. 62. 511.) eine Aenderung der Daniell'schen Kette empfohlen. Er lässt nämlich die verdünnte Schwefelsäure ganz weg und füllt die poröse Zelle mit flüssigem Zinkamalgam, in welches das Kupferleble des nächstfolgenden Elementes eintaucht. Diese Kette, mit einem langen Multiplicatordrahte, im Allgemeinen nach Einschaltung grosser Leitungswiderstände, geprüft, zeigt sich sehr constant; sie ist aber unbrauchbar zur Hervorbringung starker und gleich constanter Ströme.

Die Erfindung der constanten electrischen Kette muss man Bequerel zuschreiben, weil es ihm zuerst gelungen ist, durch Anwendung von zwei durch eine poröse Wand getrennten Flüssigkeiten die Polarisation der eingetauchten Metallplatten zu vermeiden. Bei einer von ihm beschriebenen Kette befanden sich Salpetersäure und Aetzkali in zwei durch porösen Thon getrennten Gefässen; in jede dieser Flüssigkeiten tauchte ein Platinstreifen, die Gefässe nach Erforderniss durch den Multiplicatordraht oder anderweitig verbunden wurden. Die Triebkraft dieses galvanischen Apparates ist zusammengesetzt aus der Summe der electromotischen Thätigkeiten an den Uebergangsf lächen: des Platins zum Kali, des Kalis zur Säure, der Säure zum Platin, welche sämmtlich gleichem Sinne wirksam sind. Diese Kette zeigt das Charakteristische, dass sich an dem ins Kali eingetauchten Platin Sauerstoff entwickelt, während der davon abgeschiedene Wasserstoff auf Kosten der Salpetersäure sogleich wieder oxydirt wird; sie zeigt also gleichsam das Umgekehrte der Platin-Zink-Säurekette, in welcher sich der Wasserstoff des zersetzten Wassers gasförmig entwickelt, dagegen der Sauerstoff durch Oxydation des Platins weggeschafft wird. Wie nun hier durch den Wasserstoff, so wird bei der Bequerel'schen Kette durch den Sauerstoff eine Polarisation, und folglich eine Abnahme der Stromkraft herbeigeführt. — Die Verbindung beider Systeme, nämlich Vertauschung des Platins mit dem in das Kali eingesenkten Platin mit Zink lag nahe, und so kam man zu einem Apparate bei welchem die Polarisation ganz erfolgte.

Man hat lange Zeit gestritten, ob in galvanischen Ketten, gebildet aus einem Metalle und zwei Flüssigkeiten, der Sitz der electrischen Kraft an der Berührungsfläche beider Flüssigkeiten

*) Wer ein Bunsen'sches Element nicht ununterbrochen anwendet, thut am besten, den Kupferring nach dem Gebrauche jedesmal von dem Kohlencylinder lösen, letzteren aber bis zur völligen Ausziehung der Säure in einen Kübel mit Wasser zu setzen.

oder nicht vielmehr an denjenigen des Metalls mit den flüssigen Körpern zu suchen sey. Gegenwärtig ist es ausser Zweifel gestellt, dass, ganz so wie schon Volta behauptet hat, die Anregung zu einem electricischen Strome an den Berührungspuncten zweier beliebigen ungleichartigen, jedoch die Electricität leitenden Körpern entsteht, mögen nun beide fest oder beide flüssig, oder nur der eine fest, der andere flüssig seyn. Durch Combination von drei Flüssigkeiten, indem man z. B. Filz- oder Pappscheiben damit befeuchtet, lassen sich sogar mehrfach zusammengesetzte Ketten bilden, deren Kraft ähnlich derjenigen der Volta'schen Säule mit der Anzahl der Paare zunimmt und mit Hilfe des gewöhnlichen Condensators gemessen werden kann. (Ann. d. Ch. u. Pharm. 35. 1.) Wie man das Daseyn einer electricischen Thätigkeit bei Berührung eines festen mit einem flüssigen Körper unabhängig von jedem fremden Einflusse prüfen könne, ist schon früher (355) gezeigt worden.

394. Die constanten electricischen Ketten bieten das wirksamste Hilfsmittel zur Hervorbringung electrochemischer Zersetzungen. Zur Wasserzersetzung in verdünnter Schwefelsäure genügt schon eine Kette gebildet aus drei Platin- oder aus drei Kohlenelementen. Um mit einer constanten Kupferkette eben so weit zu reichen, muss sie wenigstens aus sechs Gliedern bestehen. Aetzendes Kali oder Natron, geschmolzen oder im Zustande sehr concentrirter Lösungen, zersetzen sich gleichzeitig mit ihrem Wassergehalte unter der Einwirkung einer Batterie von 8—12 Kohlenelementen. Das gebildete alkalische Metall verbrennt aber gewöhnlich gleich wieder, so dass es schwierig ist, auch nur kleine Mengen daraus aufzusammeln. Weit leichter lässt es sich im Zustande als Amalgam gewinnen. Man giesst zu dem Ende Quecksilber auf den

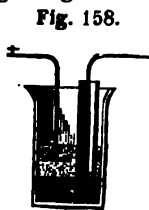


Fig. 158.

Boden eines Glases, so dass die untere Mündung eines darin stehenden offenen Glasrohrs (Fig. 158) wenigstens einige Linien hoch damit überdeckt ist, und darüber die concentrirte alkalische Lösung. Ein von dem negativen Pol ausgehender Platindraht wird durch das Rohr in das Quecksilber eingeführt, und ein ähnlicher Ausläufer des positiven Pols der Batterie mit der Oberfläche der Lösung in Berührung gesetzt. Die Zersetzung geht sogleich vor sich, wodurch das Kalium von dem Quecksilber unter beträchtlicher Erhöhung der Temperatur aufgenommen wird und damit eine beim Erkalten erstarrende Masse bildet.

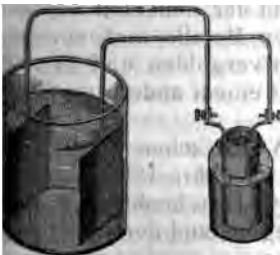
In den wässrigen Lösungen der Alkalien und alkalischen Salze, wenn man sie in die Zersetzungszelle bringt, findet zwar eine ähnliche Zerlegung statt, nämlich Sauerstoff oder ein anderes einfaches oder zusammengesetztes Radical wird an dem positiven Pole, das alkalische Metall an dem negativen Pole ausgeschieden;

allein wegen der Leichtigkeit, womit sich diese Metalle auf Kosten des Wassers oxydiren, tritt die Zersetzung desselben sogleich ein, dergestalt dass Sauerstoff und Wasserstoff entbunden wird und es zugleich den Anschein hat, als ob das Salz in Säure und Alkali wäre zerlegt worden.

Diejenigen Metalle, deren Verwandtschaft zu dem Sauerstoff des Wassers weniger mächtig ist, wie Zink, Blei, Kupfer, Silber und andere mehr, werden aus ihren Lösungen regulinisch ausgefällt. Wenn diese Auscheidung nicht zu rasch und ohne gleichzeitige Wasserstoffentwicklung vor sich geht, so überzieht sich die negative Polplatte mit einer ganz gleichförmigen, zusammenhängenden Decke des ausgefallenen Metalls.

395. Die Galvanoplastik ist eine eben so bemerkenswerthe als nützliche Anwendung dieser Erfahrung. Man versteht unter Galvanoplastik ein von Jacobi in Petersburg und, wie es scheint, gleichzeitig auch von Spencer in Liverpool entdecktes Verfahren: Gegenstände von beliebiger Gestalt, auf galvanischem Wege in Kupfer abzudrücken. Dieses Verfahren in seiner einfachsten Form ist eine unmittelbare Anwendung der Daniell'schen Kette, in welcher die Kupferplatte durch den Gegenstand ersetzt wird, von welchem man einen Abdruck zu erhalten wünscht, und dessen Oberfläche, so weit sie sich mit Kupfer bedecken soll, leitend seyn muss. Der Gegenstand in der Lösung des Kupfervitriols ganz untergetaucht, ist vermittelst eines Kupferdrahts mit dem amalgamirten Zink in der porösen Zelle verbunden. Die Flüssigkeit in der letzteren besteht aus Wasser mit Zusatz von wenigen Tropfen Schwefelsäure. Es geht eine langsame Zersetzung vor sich, wobei sich der eingewechte Gegenstand, so weit seine Oberfläche leitend ist, mit Kupfer beschlägt. Ist die Kupferdecke dick und fest genug geworden, so dass sie sich ohne den Zusammenhang zu verlieren von dem Körper ablösen lässt, so zeigt sie sich als ein sehr genauer Abdruck von der Gestalt desselben. Dieser Versuch gelingt jedoch nur unter der Einwirkung eines schwachen Stromes, und wenn die Kupferlösung durch Zusatz von Kupfervitriolkrystallen fortwährend gesättigt erhalten wird. Bei zu rasch fortschreitender Zersetzung zeigt sich

Fig. 159.



der KupfERNIEDERSCHLAG körnig und ohne Zusammenhang. — Eine Abänderung dieses ursprünglichen Verfahrens, von dem Entdecker selbst empfohlen, verbindet mit grösserer Bequemlichkeit eine grössere Sicherheit des Gelingens. In einem Glasgefässe A Fig. 159 befindet sich die Kupferlösung mit etwas Schwefelsäure gemischt. Der abzubildenden Form f, welche in diese Flüssigkeit taucht, steht eine Kupferplatte k gegenüber; beide

durch gefirniste Kupferdrähte mit den Endpunkten eines Daniell'schen Elementes verbunden, und zwar f mit dem negativen, k mit dem positiven Pole. Bei dieser Anordnung nun reducirt sich Kupfer auf der leitenden Oberfläche der Form, während ein entsprechender Theil des Kupfers der Platte oxydirt und aufgelöst wird. Die Lösung bleibt also stets in demselben Zustande der Sättigung.

Gegenstände von Metall, die man auf galvanischem Wege nachzubilden wünscht, müssen vor dem Eintauchen in die Kupferlösung an den Stellen, welche frei von Kupfer bleiben sollen, mit Wachs bedeckt werden. Körper, die für sich nicht leitend sind, z. B. Wachs- oder Stearin-Abdrücke, werden dadurch leitend gemacht, dass man fein geschlemmten Graphit oder ein sehr feines Metallpulver trocken aufträgt und mittelst eines zarten Pinsels so lange einreibt, bis die ganze Oberfläche gleichförmig damit überdeckt erscheint. Gypsformen lassen sich auch brauchen, nur müssen sie, bevor man den Graphit darauf ausbreitet, mit Wachs getränkt werden. Es ist übrigens einleuchtend, dass jeder von einem Originalgegenstande unmittelbar erhaltene, wohlgelungene Kupferabdruck für eine neue Operation wieder als Form dienen kann und dass der auf diese Weise erhaltene zweite Abdruck in seiner ganzen Oberflächenbeschaffenheit dem Originale vollkommen gleichen muss. Um das Anhängen des galvanischen Kupfers an einer Metallplatte zu verhüten, wird letztere vor Anstellung des Versuchs mit Olivenöl eingerieben und dieses wiederum mit weichem Fliesspapier und Bürste entfernt.

Auf galvanischem Wege hat man nicht nur Siegelabdrücke, Denkmünzen, Holzschnitte, Figuren in halberhabener Arbeit und selbst ganze Gestalten nachgebildet, sondern es ist auch gelungen, gestochene Kupferplatten so treu wiederzugeben, dass die davon erhaltenen Abdrücke von den von der Originalkupferplatte erhaltenen sich nicht unterscheiden liessen. Jetzt hat man auch angefangen grössere in Gyps ausgeführte Modelle auf galvanischem Wege in Kupfer abzuformen.

Ein empfehlenswerthes Schriftchen für Freunde dieses Verfahrens ist: die Galvanoplastik von Fardely.

An die Galvanoplastik reihen sich die in der neuesten Zeit mit dem besten Erfolge angewendeten Methoden, Metalle, insbesondere Kupfer und Messing, auf nassem Wege zu vergolden und zu versilbern, und im Allgemeinen ein Metall mit einem andern zu überziehen. (Zu vergl. Pogg. Ann. 55. 162.)

396. Die chemischen Wirkungen der Volta'schen Säule sind bald nach der Erfindung derselben, die im Jahre 1800 bekannt wurde, fast gleichzeitig von mehreren Physikern beobachtet worden. Sie sind seitdem unausgesetzt ein Gegenstand der eifrigsten Studien geblieben. Die Zersetzung des Wassers wurde in England

von Carlisle, in Deutschland von Ritter bemerkt. Im Jahr 1807 gelang es H. Davy mit Hilfe kräftiger Säulen die Zersetzung der Alkalien zu beweisen. Die Batterie, welche er dazu benutzte, bestand aus 150 — 200 Zink-Kupferpaaren mit verdünnter Schwefelsäure geladen. Solche grosse Säulen, früherhin im Gebrauche, charakterisiren sich durch ihre kräftigen galvanischen Wirkungen. Zum Zwecke electrolytischer Untersuchungen stehen sie aber einer Bunsen'schen constanten Kette von 20 Paaren weit nach.

Entstand unter den Naturforschern ein sehr lebhaft gestrittenes über die eigentliche Bedeutung des chemischen Processes in der geschlossenen Kette. Die Einen, an der Volta'schen Theorie (360) festhaltend, bemühten sich den Beweis zu führen, dass die chemischen, gleich den physiologischen Erscheinungen des Stromes seyen, Andere glaubten in der Oxydation des Zinks die wahre Quelle der galvanischen Electricität gefunden zu haben. Diese Ansicht, die Oxydationstheorie, ist am meisten behauptet und noch in der neuesten Zeit, wiewohl mit abnehmender Glücke, von de la Rive vertheidigt worden.

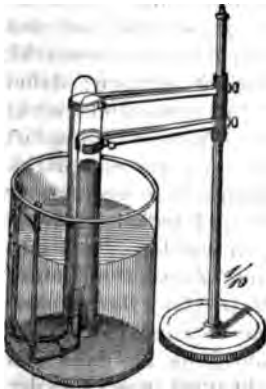
Die Oxydationsprocess in der geschlossenen Kette ist immer mit der Zersetzung des flüssigen Leiters begleitet, und die Stärke des Stromes ist augenscheinlich an die Lebhaftigkeit dieser Zersetzung geknüpft. Hierdurch wurde Davy zu dem Gedanken gedrungen, dass in dem Zersetzungsprocess die Ursache der Fortdauer des Stromes zu suchen, während er übrigens mit Volta die Berührung viel mehr ein Streben zur chemischen Verbindung, welche Augenblicke der Berührung geweckt wird, als Ursache der galvanischen Erregung und des Vertheilungszustandes betrachtet. Diese Ansicht abweichend von dieser Vorstellungsweise ist zuerst von Faraday aufgestellte chemisch electriche Theorie geht von der Ansicht aus, dass die electriche Anziehung zwischen chemischen Affinität im Grunde nur verschiedene Ausdrücke der nämlichen Sache seyen. Wirkt z. B. Zink zersetzend auf das Kupfer, so kann man diess mit gleichem Rechte eine chemische Verbindung oder auch eine electriche Thätigkeit nennen; dabei wird der Sauerstoff angezogen; der Wasserstoff seinerseits wirkt auf das benachbarte Element des Wassers und sofort auf die Weise, wie es dem Wesen der Electricität entspricht. Die von dem Zink ausgehende Wirksamkeit in bestimmter Richtung; durch die Flüssigkeit fortgepflanzt und selbst auf feste Leiter übertragbar stehende Leiter übertragen werden. Nach dieser Theorie erscheint also die beginnende Zersetzung einer geschlossenen Verbindung als eine Quelle von Electricität. Der electriche Strom ist aber das Fortschreiten dieser Zersetzung nach einer bestimmten Richtung. Faraday erkennt übrigens an, dass das die Flüssigkeit in welche es getaucht wird, noch vor der

Zersetzung eine gewisse Wirksamkeit äussere, welche nichts Anderes sey als das Streben, Zersetzung herbeizuführen; ohne dieselbe gerade immer zur nothwendigen Folge haben zu müssen. — Wollen wir nun dieses Streben auf seinen letzten Grund zurückführen, so ist es nichts Anderes als die Anziehung des Zinks zum Sauerstoffe des Wassers; oder wie sich einige Chemiker ausdrücken, ein polarer Zustand der Verwandtschaft. Eine sichtbare Aeusserung desselben bevor noch ein Fortschreiten der Zersetzung möglich geworden, ist der electriche Vertheilungszustand, ganz so wie er überhaupt bei der Berührung ungleichartiger Stoffe gefunden wird.

Die Faraday'sche Theorie consequent verfolgt, betrachtet also den electriche Vertheilungszustand, die electriche Differenz, in der offenen Säule unabhängig von dem Acte der Zersetzung; sie identificirt aber diesen Zustand mit dem einer chemischen Polarität und sucht hierdurch begreiflich zu machen, dass ohne den Eintritt der chemischen Zersetzung kein Strom entstehen noch fortauern kann. Sie ergänzt in so fern die Volta'sche Theorie, welche von dem Daseyn des electriche Stromes gar keine Kenntniss nimmt.

397. Volta - Electrometer (Voltameter). Um das Gesetz der Abhängigkeit electriche Ströme von der chemischen Zersetzung gründlich studiren zu können, bedurfte es eines geeigneten Maasses. Faraday (Pogg. Ann. 33. 316) benutzte hierzu die Wasserzersetzung, indem er zwei Platinplatten, an welchen sich der electrolytische Sauerstoff und Wasserstoff entwickeln sollte, unter graduirte Glasröhren brachte, so dass beide Gase vollständig, entweder zusammen oder getrennt aufgefangen und gemessen werden konnten. Die geeignete Geräthschaft erhielt den Namen Voltameter. Unter verschiedenen Einrichtungen, welche dem Voltameter gegeben werden können, erscheint die folgende

Fig. 160.



durch Zweckmässigkeit und Bequemlichkeit besonders empfehlenswerth.

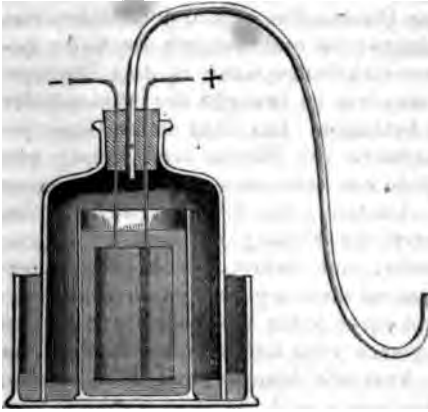
Die beiden Platinplatten befinden sich in dem zur Aufnahme der Zersetzungsflüssigkeit bestimmten Behälter einander gegenüber; sie sind an dicken Platindrähten angelöthet, die, so wie die Figur 160 zeigt, in Glasröhren von wenigstens 2 Linien innerer Weite eine kleine Strecke luftdicht eingekittet sind. Der übrige Theil der, wie man sieht, rechtwinklig aufwärts gebognen Röhren ist mit Quecksilber gefüllt und dadurch die leitende Verbindung nach Aussen bewerkstelligt. Zur Erhaltung eines festen Standes sind ausserdem beide Glasröhren mittelst Kupfer-

röhren mehrfach verbunden. In das Quecksilber des einen Rohrs wird das positive Ende, in das Quecksilber des andern Rohrs das negative Ende der Batterie eingesenkt und dadurch die Kette geschlossen. Sollen die sich entwickelnden Gase in dem Messgefasse gemengt aufgefangen werden, so braucht der Abstand der Platten nur wenige Linien zu betragen. Um aber beide Gase getrennt auffangen zu können, müssen die Platten weit genug voneinander abstehen, um über jede ein besonderes Messrohr setzen zu können. Bei der letzteren Anordnung hat der electriche Strom den vergrösserten Weg durch die Flüssigkeit zurückzulegen; der Leitungswiderstand vermehrt sich daher. Die hierdurch bewirkte Verminderung der Wasserzersetzung ist gleichwohl, vorausgesetzt dass der untere Rand eines jeden Messrohrs wenigstens um die Hälfte seines Durchmessers vom Gefässboden absteht, so bedeutend nicht als der erste Anschein könnte vermuthen lassen. Bei Anwendung einer Kohlenbatterie von 4 Elementen erhielt man z. B. Gasmengen im Verhältnisse von 1 : 1½, je nachdem beide Gase getrennt oder zusammen aufgefangen wurden. Die Weite der Messröhren betrug 28 Millimtr., die Länge der eingetauchten Platinplatten 75 mm, ihre Breite 27 mm. In Fällen wo eine möglichste Beibehaltung dieses Verlustes wünschenswerth seyn sollte, kann man nach Poggendorff's Vorschlag die Platinstreifen mit Cylindern von porösem Thon umgeben, an deren oberem Rande dann die Messröhren angeschlossen werden.

Als Zersetzungsflüssigkeit wählt man am besten reine Schwefelsäure von 1,3 spec. Gewichte; weil bei diesem Concentrationsgrade der Säure eine Umfangsvermehrung der aufgesammelten Gase durch Beimengung von Wasserdämpfen, bei keiner der gewöhnlich vorkommenden Temperaturen zu befürchten ist. Auch ist man bei einem grösseren Wassergehalte des Säuregemisches weniger sicher, allen durch die Electrolyse frei gewordenen Wasserstoff zu gewinnen. Ein Verlust an Wasserstoff kann auch durch Beimengung oxydirender Substanzen, z. B. von Salpetersäure oder deren Salzen, herbeigeführt werden. Befinden sich Chlorverbindungen in der Flüssigkeit aufgelöst, so nehmen diese an der Zersetzung Theil und man bemerkt eine Abnahme der Sauerstoffentwicklung. Alkalien und alkalische Salze der Electrolyse unterworfen, liefern Sauerstoff und Wasserstoff gleich wie die Schwefelsäure im Verhältnisse von 1 : 2, ihre Auflösungen können deshalb ebenfalls als voltametrische Flüssigkeiten benutzt werden; doch leiten sie die Electricität weniger gut als die Säure.

Die Figur 161 zeigt einen electriche Gasentbindungsapparat, zu welchem ätzendes Kali (1 Theil trocknes Kali mit 9 Theilen Wasser) mit Vortheil verwendet werden kann, wenn man als Zersetzungsplatten möglichst grosse Stücke Eisenblech wählt. Das Eisen hat nämlich die Eigenschaft in ätzender Lauge vom Sauerstoff

Fig. 161.



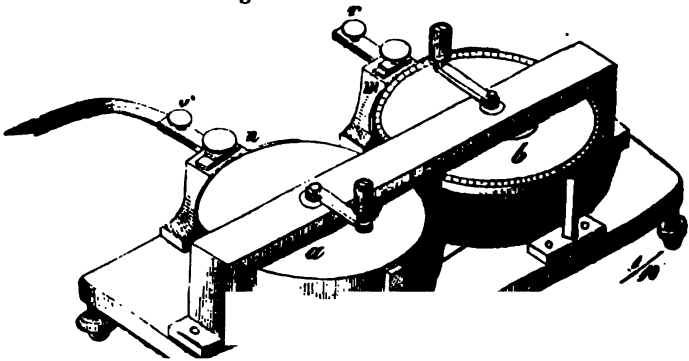
fast gar nicht angegriffen zu werden, so dass man bei dieser Anordnung wie mit Platinplatten beide Gase zugleich erhält.

Zum Zwecke feinerer Maassbestimmungen ist jedoch Eisen in Aetzkali nicht brauchbar, indem dabei nicht nur Sauerstoff, sondern auch Wasserstoff in sehr veränderlicher Menge (je nachdem sich das Eisen vor dem Gebrauche mehr oder weniger mit Oxyd bedeckt hatte) verloren wird.

398. Der Strom-Regulator (Rheostat, Voltagometer). Wenn man den electrischen Strom zugleich durch die Flüssigkeit eines Voltameters und den Draht eines Galvanometers gehen lässt, bemerkt man gewöhnlich, dass die Nadel des letzteren ihre anfänglich erhaltene feste Stellung auf die Dauer selbst dann nicht unveränderlich beibehält, wenn die bewegte Electricität einer constanten Batterie entspringt. Mit Hülfe des Strom-Regulators, einer von Wheatstone ersonnenen Geräthschaft, gelingt es diese Unregelmässigkeit auszugleichen, d. h. einen lange Zeit anhaltenden Zersetzungs-Strom von vollkommener Beständigkeit zu schaffen. Es ist hierdurch möglich geworden, die magnetische mit der zersetzenden Kraft der Electricität aufs genaueste zu vergleichen.

Figur 162 gibt die Ansicht eines für die Feststellung stark

Fig. 162.



metrischer Ströme berechneten Regulators. Zwei Rollen von dem Holze, jede $\frac{3}{4}$ Metre im Umfang haltend, sind um lothrecht stehende Axen drehbar. In die Cylinderfläche der Rolle *b* sind Drahtwindungen eingeschnitten, weit genug um einen Argentandraht von 1,5 Millimetre Dicke aufnehmen zu können, dessen Ende in einen den oberen Rand der Rolle umgebenden, 12 Millimetre hohen Messingring eingelassen ist. Das andere Ende dieses Drahtes hängt am unteren Rande der Rolle *a*, deren ganze Cylinderfläche mit Messingblech bedeckt und glatt ist. Vermittelst der Rollen, 12 Millimetre breiten Kupferstreifen *n* und *m*, die gegen die Messingringe der Rollen gedrückt werden, und der Klemmschrauben *r* und *s* kann die Verbindung mit beiden Polen eines Galvanometers hergestellt und dadurch die Kette geschlossen werden. Der Strom gelangt nun z. B. von der Messinghülle der Rolle *a* unmittelbar zu dem Drahtstücke, welches zu der andern Rolle *b* überführt, muss dann alle auf *b* bereits aufgewickelten Drahtwindungen durchdringen, weil diese seitwärts in keiner leitenden Verbindung stehen, und kommt so endlich zu dem Messingringe der Rolle *b* und der Feder *m*. Der Weg den er zu beschreiben, der Widerstand den er zu überwinden hat, vermehrt sich daher oder verändert sich, je nachdem man Draht auf der Rolle *b* aufwickelt oder davon abwickelt. Man hat es also ganz in der Gewalt, durch Veranschaltung verhältnissmässiger Drahtlängen die Stromstärke beliebig zu verändern oder auch eine etwaige Veränderlichkeit der Stromstärke so zu reguliren, dass eine bestimmte Stärke des Stromes festgehalten wird. Argentandraht empfiehlt sich zu dieser Geräthhaft deshalb vorzugsweise, weil er als sehr schlechter Leiter ein sehr wirksames Hülfsmittel bietet, die Grösse des Leitungswiderstandes einer Kette schnell zu verändern. Die übrigen Bestandtheile des Regulators (ausser dem Argentandraht) sind sämmtlich solchen Dimensionen gewählt, dass sie für sich keinen bemerkbaren Leitungswiderstand verursachen. Der Umfang der Schraubenrolle ist in 100 gleiche Theile getheilt, so dass man mittelst des festen Zeigers bei *b* leicht entdeckt, wie viele Unterabtheilungen der Drahtwindung zugesetzt oder weggenommen sind. Die Anzahl ganzer Umwindungen zählt man an dem Maassstab *c*.

399. Die electrolytischen Gesetze. Durch die genaue Vergleichung der auf galvanischem Wege bewirkten Wasserzersetzung mit der unter dem Einflusse desselben Stromes erhaltenen Ablenkung der Galvanometer-Nadel hat man erkannt: dass die chemische Wirksamkeit der Kette gleichen Schritt hält mit ihrer magnetischen Wirksamkeit. War z. B. ein dem Strom eingeschaltete Galvanometer eine Tangentenbussole, so findet man, dass die Tangente des Ablenkungswinkels multiplicirt mit der Wirkungszeit einen Werth gibt, der sich verhält wie die Menge des in derselben Zeit im Zersetzungsapparate entwickelten Gases.

War also die magnetische mit der chemischen Kraft des Stromes nur ein einzigesmal recht genau verglichen worden, so gib für eine beliebige andere beständig erhaltene Ablenkung φ de Ausdruck $a \cdot t \cdot \operatorname{tng} \varphi$ ein genaues Maass der Gasmenge, welche bei dieser Stromkraft während der Zeit t geliefert werden kann. Die Grösse a , nämlich die in der Zeiteinheit und unter dem Einfluss der Kraft 1 ($1 = \operatorname{tng} 45^\circ$) gesammelte Gasmenge, ändert sich mit dem galvanometrischen Instrumente, das bei den Versuchen benutzt wird. Sie muss für ein jedes besonders ermittelt werden. Z. B. bei der in N. 370 beschriebenen Tangentenbussole, deren Reif 401,3 metre im Durchmesser hält, entspricht die Ablenkung von 45° , einer Wasserstoffmenge von 42,16 C. C. (bei 0° und 336,9" Pressung) in der Minute. Es ist demnach auf die Sekunde berechnet: $a = 0,7027$, also für dieses Instrument die einer Ablenkung φ gleichwerthige Wasserstoffmenge: $V = 0,7027 t \cdot \operatorname{tng} \varphi$.

Das Voltmeter bietet auf diese Weise ein Hilfsmittel, die Anzeigen verschiedener Galvanometer unter einander zu vergleichen und auf ein gemeinschaftliches Grundmaass zurückzuführen. Als ein solches Grundmaass könnte diejenige Electricitätsmenge gelten, die erfordert wird, um ein Volum Wasserstoff zu entbinden, oder um die Gewichtseinheit Wasser zu zersetzen, oder endlich auch um das chemische Aequivalent des Wassers, nämlich 1,1248 Grm, in seine Bestandtheile zu zerlegen.

Will man die zuletzt genannte Grundlage beibehalten und berücksichtigt man, dass die Menge Wasserstoffgas, die bei 0° und 336,9" Pressung aus 1,1248 Grm Wasser erzielt werden kann,

beträgt: $V = \frac{1,1248 \cdot 1000}{9 \cdot 0,08938} = 1396,25$ C. C., so gelangt man für

die Tangentenbussole im Allgemeinen zu der Gleichung: $1396,25 = a t \operatorname{tng} \varphi$; woraus sich z. B. für das vorhererwähnte

besondere Instrument ableiten lässt: $t = \frac{10000}{5,0255 \operatorname{tng} \varphi}$, als Zeit

während deren Verlauf bei einer gewissen Ablenkung φ ein Aequivalent Wasser zersetzt wird, oder ein Aequivalent Electricität (das angenommene Grundmaass) durch jeden Querschnitt des Leiters strömt.

Bei irgend einem andern Galvanometer, dessen Anzeigen ebenfalls unter einander vergleichbar sind, wird derselben Zeit t vielleicht ein anderer Ablenkungsbogen φ' entsprechen; es ist dann einleuchtend, dass die Ablenkung φ des einen und die Ablenkung φ' des anderen Instrumentes einerlei Stromstärke anzeigen. Man ist also jetzt im Stande, die Angaben des einen auf die des andern zurückzuführen und zwar ganz unabhängig vom Orte und von der Zeit der Beobachtung.

Hat man die Vergleichung eines Galvanometers mit dem Volts-

al mit aller Sorgfalt ausgeführt, so ist der Gebrauch des m die zersetzende Kraft einer electricischen Kette zu i wenigstens gleicher Sicherheit ungleich bequemer als tzteren und daher in den meisten Fällen vorzuziehen. Lehrte, nämlich die Beurtheilung der magnetischen Kraft ns aus der Wasserzersetzung, ist nur selten ausführ- bei schwachen Strömen die Gasentbindung nicht aus- ung ist und weil durch Einschaltung des Voltameters die handene Stromstärke allemal vermindert wird.

i unbeständigen Strömen bleibt die Wasserzersetzung e sichere Mittel, um die innerhalb einer gewissen Zeit ng gesetzte Electricität ihrer Gesammtmenge nach ken- ten.

e Menge zersetzten Wassers zeigt sich ganz gleich, · Stelle einer constanten Kette man das Voltameter ein- haben mag. Nöthigt man den Strom durch die Flüssig- rarerer Voltameter zu wandern, mögen diese nun unmit- in Zwischenräumen auf einander folgen, so wird zwar ein durch jeden neu hinzugefügten Zersetzungssapp- antität der in jedem einzelnen stattfindenden Zersetzung . Tritt aber überhaupt noch eine bemerkbare Gasent- n, so ist sie gleich gross in allen Messröhren. Dieses ist wahr, ob die Zersetzungstellen gleiche oder ver- Oberflächen bieten, ob es nur Drähte oder ob es Platten, deren eben oder gebogen sind, ob sie parallel oder nicht nder gegenüberstehen, ob sie die Richtung des Stroms t oder schief durchschneiden, ob endlich die zwischen hen befindliche flüssige Schicht eine grössere oder eine Dicke besitzt. Die zersetzende Kraft des Stroms hat das mit seiner magnetischen Kraft gemein, dass sie in en durch die Kette geführten Querschnitte eine gleiche sitzt. Man kann das Voltameter sehr leicht in einen lig wirksamen electricischen Apparat, d. h. in eine Erzeu- oder in einen Electromotor verwandeln, wenn man die r Platinplatten mit einer amalgamirten Zinkplatte ver- üllt man mehrere solcher Apparate mit derselben Flüs- B. mit verdünnter Schwefelsäure, so werden sie, jeder schlossen, je nach der Grösse und dem Abstände der gleiche Mengen von Wasserstoff an den Platinplatten Verbindet man sie aber zu einer mehrgliedrigen Kette, inden diese Ungleichheiten und jede Zelle liefert gleich Wird eine für sich unwirksame Zelle, ein Voltameter, in ldete Batterie eingeschlossen, so entwickelt sich darin, ie Kette geschlossen bleibt, eben so viel Gas wie in je- · Zelle.

at man die verschiedenen Zellen einer Batterie, sey sie perimentalphysik.

constant oder inconstant mit ein und derselben oder auch mit verschiedenen Flüssigkeiten gefüllt, jedoch sämtlich von der Beschaffenheit, dass während des Ruhezustandes die Zinkplatten nicht angegriffen werden können, z. B. mit verdünnter Schwefelsäure (100 Grm Wasser auf 2,25 concentrirte Säure) oder mit schwefelsaurem Kali, oder wenn es eine constante Batterie ist, am besten mit schwefelsaurem Zink, so verliert während des Gebrauchs jede Zinkplatte genau gleich viel von ihrem Gewichte und dieser Zinkverbrauch in jeder Zelle ist chemisch-proportional (ein Aequivalent) dem in dem Voltameter in gleicher Zeit entwickelten Wasserstoffe.

Wird der electriche Strom durch das Voltameter und zugleich noch durch eine andere Zersetzungszone geführt, die eine concentrirte Metallauflösung enthält; z. B. Zinkvitriol, oder Chlorzink, oder schwefelsaures Kupfer, oder salpetersaures Silber u. s. w., so entsteht an der electronegativen Seite der Zelle ein Niederschlag dieses Metalls. Vorausgesetzt nun, dass die gewählte Auflösung rein war und dass mit der Metallausfällung nicht zugleich Wasserzersetzung eintrat, so verhält sich die Gewichtsmenge des ausgeschiedenen Metalls zur Gewichtsmenge des im Voltameter entbundenen Wasserstoffs, wie das chemische Aequivalent des einen zu dem des andern dieser Stoffe. Hatte sich aber an der Zersetzungsstelle eines dieser Metalle zugleich Wasserstoff entwickelt und war derselbe aufgefangen und gemessen worden, so findet man, dass die gleichzeitig ausgefällte Metallmenge dem Unterschiede der im Voltameter und in der andern Zersetzungszone entbundenen Wasserstoffmenge äquivalent ist. Wasserfreie Verbindungen im geschmolzenen Zustande, wie Chlorzinn, Chlorblei oder salpetersaures Silber in den Kreislauf des Stroms gebracht, werden gerade so wie wässrige Lösungen und nach demselben quantitativen Verhältnisse zerlegt. Im Allgemeinen also wird diejenige Electricitätsmenge, welche die Electrolyse von 1 Aequivalent Wasser zu bewirken vermag, in jeder andern binär zusammengesetzten flüssigen Verbindung welche sie durchdringen kann, gleichfalls ein Aequivalent derselben zersetzen; oder anders ausgedrückt: die durch ein und denselben electriche Strom zerlegten Gewichtsmengen binärer Verbindungen (die electrochemischen Aequivalente) verhalten sich wie die chemischen Aequivalente.

Die allgemeine Gültigkeit dieses merkwürdigen zuerst von Faraday dargehaltenen Gesetzes liefert zugleich den kräftigsten Beweis, dass ein durch den Strom zersetzbarer Leiter nur so viel Electricität durchlassen kann, als dem Quantum seiner Zersetzung entspricht.

402. Der reine Effect der electrochemischen Zersetzung kann,

deren Beschaffenheit der zersetzten Flüssigkeit eintauchenden Leiter, durch sekundäre Einwirkung werden, so dass es öfters den Anschein hat, dass die Quantität der Zersetzung der Menge verwendeter Electricität proportional sey.

Die Lösung Verbindungen von analoger Zusammensetzung in Wasser, Verbindungen electronegativer Metalle; so wird je nach der Grösse der chemischen Kraft bald nur die am leichtesten löslichen mehrere zugleich zerlegt. Die Zersetzung aber immer der Summe der stattgehabten Zersetzungen proportional. Aus der Menge des aufgefundenen Wasserstoffes lässt sich daher in solchen Fällen kein sicherer Schluss auf die Menge der durchgegangenen Electricität ziehen. B. in den verschiedenen Gefässen einer Volta'schen Zelle verdünnte Schwefelsäure die, in den einen Gefässen weniger, bereits mit Zinkvitriol oder auch mit Ammoniaklösung vermischt ist, so wird in denselben eine ungleiche Zersetzung, nämlich eine ungleich starke Zersetzung eintreten. Nur alkalische Salze, deren Säuren Oxidationsmittel sind, der Zersetzungsflüssigkeit zugesetzt, ändern das Verhältniss des gebildeten Wasserstoffes zu der Bewegung gesetzten Electricität ganz ungestört. Man kann bemerken dass die alkalischen Metalle, wenn sie auch in ihren Verbindungen ausgeschieden werden, ohne Kosten des vorhandenen Wassers sogleich wieder

zurück zur Darstellung ausgehend, erklärt man sich leicht den Versuch: Man bringe in ein doppelschenkliges Rohr (Fig. 163) eine neutrale Salzlösung, z. B. schwefelsaures Kali, das mit Veilchensyrup blau gefärbt ist, und tauche in die Flüssigkeit des einen Schenkels einen von dem positiven Pole der Batterie, in den andern Schenkel einen von dem negativen Pole ausgehenden Platindraht. Die Gasentwicklung wird alsbald vor sich gehen und nach kurzer Zeit wird man bemerken, dass die das positive Drahtende umgebende Flüssigkeit eine rothe, die das negative Drahtende umgebende Flüssigkeit eine grüne Farbe annimmt; dass freie Säure und freies Kali entstanden ist. Das freie Wasserstoffgas und die am positiven Drahtende ausgeschiedene Alkali und die am negativen Drahtende ausgeschiedene Säure lassen sich quantitativ ermitteln, wenn man den Zersetzungsapparat durch eine poröse Wand in zwei Zellen, oder durch zwei poröse Wände in drei gesonderte Zellen zerlegt, die alle mit derselben Lösung eines Neutralsalzes

angefüllt werden; in die vorderste Zelle taucht man dann die positive Polplatte, in die hinterste die negative. Die Menge der auf der electropositiven Seite frei gewordenen Säure so wie das auf der negativen Seite frei gewordene Alkali lässt sich dann leicht bestimmen. Auf diese Weise hat Daniell gefunden, dass die Gewichtsmenge zersetzten Salzes ein Aequivalent ist des in derselben Zelle gleichzeitig frei gewordenen Wasserstoffs, dessen Volum wieder dem während derselben Zeit und durch denselben Strom in einem Voltameter entbundenen Wasserstoffe gleichkommt. Wollte man nun annehmen, dass die Gasentwicklung von einer electrischen Wasserzersetzung abstamme und dass derselbe Strom zugleich auch das Salz in Säure und Alkali zerlegt habe, so würde der Gesamtbetrag der Zersetzung noch einmal so viel betragen als sein Aequivalent an durchgegangener Electricität. Es ist daher keine andere Erklärungsweise zulässig, als die, dass beide Zersetzungen sekundärer Art waren, während die primäre darin bestand hat, das Salz in Kalium und in das electronegative Radikal SO_4 zu zerlegen. Das electrolytische Gesetz enthält somit den bündigsten Beweis für die Richtigkeit der zuerst von Davy aufgestellten und von Liebig verallgemeinerten Theorie der Wasserstoffsäuren.

Eine andere Art sekundärer Erscheinungen, welche die Electrolyse begleiten, beruht auf dem hohen Grade von Verbindungsfähigkeit, den die durch den Strom getrennten Bestandtheile einer Verbindung im Augenblicke ihrer Abscheidung besitzen; einer Fähigkeit die verloren geht, sobald sie in den gewöhnlichen electrischen Zustand zurückgetreten sind. So gibt die electrische Zersetzung sehr häufig Gelegenheit zur Bildung von Hyperoxyden, Doppelsalzen und andern Verbindungen, bei welchen sich schwache Verwandtschaften geltend machen müssen und die auf die gewöhnlicheren Verfahrungsweisen des Chemikers oft nur schwer darzustellen sind.

Man setze zwei Platinstreifen, welche die Endpunkte einer Kette von mässiger electromotorischer Kraft, z. B. eines einzigen Daniell'schen Elementes, bilden in eine Auflösung von Bleizucker, so wird das Bleisalz nicht electrisch zerlegt. Man bemerkt aber an dem negativen Pole eine sehr langsame Gasentwicklung (Wasserstoffgas) und an dem positiven Pole bildet sich braunes Bleihyperoxyd, in welcher Form nach und nach alles Blei aus der Flüssigkeit abgeschieden wird. Hier war also, unterstützt durch die Verbindungsfähigkeit des Sauerstoffs im Erzeugungszustande, die Electrolyse des Wassers durch eine Kraft bewirkt worden, die für sich nicht einmal das Bleisalz zersetzen konnte.

Auf ähnliche Weise und aus demselben Grunde setzt sich an dem positiven Pole Manganhyperoxyd ab, wenn die Flüssigkeit aufgelöstes Manganoxydul enthielt. Diess geschieht selbst bei

Anwendung einer kräftigeren Kette und ohne dass sich metallisches Braunstein am negativen Pole zeigt. Die geringsten Spuren von Manganoxydul können auf diese Weise in einer Flüssigkeit bemerkbar gemacht werden.

Befindet sich in der Zersetzungszelle eisenfreier Kupfervitriol oder auch nur verdünnte Schwefelsäure, so entbindet sich an der positiven Platinplatte zugleich mit dem Sauerstoffgase ein flüchtiger Stoff von eigenthümlich säuerlichem, dem der salpetrigen Säure ähnelndem Geruche, jedoch in so geringer Menge, dass die Isolirung desselben so wie die nähere Erforschung seines Verhaltens grosse Schwierigkeiten bietet. Die Vermuthung, dass es eine höhere Oxydationsstufe des Wasserstoffs sey, ist indessen durch Untersuchungen von Fischer und neuere von Williamson fast ausser Zweifel gesetzt. Schönbein, der diesen Geruch zuerst bemerkte, nannte den Träger desselben Ozon; er glaubte in seinem Ozon ein eigenthümliches Princip und zugleich die Ursache des Geruchs der aus Spitzen ausströmenden Reibungselectricität entdeckt zu haben. Gegenwärtig scheint er aber diese Vorstellung selbst wieder aufgegeben und die vorher erwähnte Ansicht über die Zusammensetzung des riechenden Stoffs adoptirt zu haben.

Wird die Zersetzungszelle durch eine poröse Wand in zwei Abtheilungen geschieden, die man beide mit Salmiaklösung anfüllt; so erhält man am negativen Pole Ammonium, das in Wasserstoff und Ammoniak zerfällt; am positiven Pole zeigt sich aber kein Chlor, sondern freie Salzsäure und Chlorstickstoff, das sich in gelben ölartigen Tropfen absetzt. Das durch die Electrolyse ausgeschiedene Chlor hatte folglich dem Salmiak seinen Wasserstoff entzogen und Chlorstickstoff zurückgelassen. Da der Chlorstickstoff ein, wie bekannt, sehr leicht explodirender Körper ist, so erfordert die Anstellung dieses Versuches grosse Vorsicht. Er wird nach R. Böttger's Angabe ganz gefahrlos, wenn man auf die den positiven Pol umgebende Flüssigkeit eine dünne Schicht Terpenthinöl gibt, indem die verschwindenden kleinen Tröpfchen Chlorstickstoff, indem sie sich von der Polplatte erheben und mit dem Terpenthinöl in Berührung kommen, sogleich explodiren, bevor sie sich zu grösseren Gefahr drohenden Massen ansammeln können.

Wenn man den positiven Pol einer kräftigen Batterie mit einer Platte von englischem Gusseisen verbindet und diese in eine möglichst concentrirte Lösung von Aetzkali eintaucht (als negative Gränzfläche kann eine Platin- oder Eisenplatte verwendet werden), so scheidet sich an dem Gusseisen kein Sauerstoff ab, aber die Flüssigkeit in seiner Umgebung wird dunkelroth gefärbt, durch die Bildung von eisensaurem Kali.

Besonders geeignet, um auf dem ange deuteten Wege chemische Verbindungen und zwar hauptsächlich solche hervorzubringen,

die nur durch schwache Verwandtschaften gehalten sind, erscheinen nach Becquerel die langsam wirkenden galvanischen Ketten, welche aus zwei Flüssigkeiten mit einem Metalle gebildet werden. Mit Hülfe derartiger Combinationen hat Becquerel Metalloxyde, Schwefelmetalle, Chlormetalle und zahlreiche Doppelverbindungen im krystallisirten Zustande erhalten. (Siehe sein traité de l'électricité ect. t. III, auch Pogg. Ann. 16. 306 und 18. 143.)

Von dem Leitungswiderstande und dem Ohm'schen Gesetze.

403. Die verschiedenen Leiter der Electricität, feste und flüssige Körper, aus welchen eine galvanische Kette zusammengesetzt ist und die theils wesentliche Bestandtheile derselben ausmachen, theils aus irgend andern Gründen in den Kreis derselben eingeschlossen sind, lassen sich gleichsam als eine Röhrenleitung betrachten, worin die Electricität durch die Wirksamkeit der electromotorischen Kraft bewegt wird, ähnlich wie fließendes Wasser durch sein Gefälle.

In jedem Bestandtheile der Leitung, welche der Strom durchdringen muss, erfährt derselbe einen Widerstand, der theils von der innern Beschaffenheit des Stoffes, theils von seinen Dimensionen abhängt. Die Summe aller dieser Aufenthalte im Umfange einer Kette auf eine gemeinschaftliche Maasseinheit zurückgeführt (reducirt) nennt man den Leitungswiderstand dieser Kette. In der Kette finde sich z. B. ein Metalldraht, etwa ein Kupferdraht von genau bekannten Dimensionen eingeschlossen und man nehme an, als die wahrscheinlichste Hypothese, dass der durch diesen Draht verursachte Widerstand sich wie die Länge desselben verhalte, so kann man sich weiter vorstellen, dass jedes der übrigen Glieder der Kette für sich genommen einen Widerstand bewirkt, der dem eines mehr oder weniger grossen Bruchtheils jenes Drahtes gleichkommt. Auf diese Weise ist also der ganze Apparat, in Beziehung auf sein Vermögen die Electricität zu leiten mit einem Kupferdrahte von bekannter Dicke und Länge verglichen. Ohm, von welchem diese Betrachtungsweise herrührt, nennt den so bezeichneten Widerstand: den reducirten Leitungswiderstand, und er hat, um die Abhängigkeit des electricischen Stroms von der bewegenden Kraft und dem Widerstande auszudrücken, das folgende allgemein geltende, durch die Einfachheit seines Ausdrucks merkwürdige Gesetz aufgestellt: Die Menge (Quantität) der bewegten Electricität verhält sich direct wie die vorhandene electromotorische Kraft und umgekehrt wie der reducirte Leitungswiderstand. Bezeichnen wir mit Q die Quantität der in der Einheit der Zeit bewegten Electricität, die Stromstärke, mit K die gesammte electromotorische

Kraft der Kette, mit R den Widerstand im Umfange derselben, ausgedrückt als Drahtlänge, so ist hiernach:

$$Q = \frac{K}{R}$$

indem diejenige Stromstärke, welche der Kraft Eins und der Drahtlänge Eins entspricht, ebenfalls als Einheit genommen wird.

404. Die Richtigkeit dieses Gesetzes lässt sich experimentell leicht bewähren. Sehen wir zuerst, dass die Stromstärke dem Leitungswiderstande umgekehrt proportional ist. Man führe zu dem Ende einen constanten Strom, etwa den eines Kohlenelementes durch den Ring der Tangentenbussole (370) und noch durch so viel Umwindungen des Regulators (398), dass dadurch eine bestimmte Ablenkung der Nadel, z. B. die von 30° erhalten wird. Angenommen es waren dazu 5 Windungen erforderlich. Da die Tangenten der Ablenkungswinkel den Stromstärken proportional sind, so können sie als Maass dafür gelten. Es ist

unter dieser Voraussetzung $\operatorname{tng} 30^\circ = \frac{K}{R}$. Setzt man mehr Argen-

tandraht zu, so vermindert sich der Strom; werden z. B. noch 6,30 Windungen eingeschoben, so stellt sich die Nadel bei $16^\circ,1$.

Es ist aber $\operatorname{tng} 16^\circ,1 = \frac{\operatorname{tng} 30^\circ}{2}$, d. h. die Stromstärke ist halb so

gross wie früher. Wir schliessen hieraus im Sinne des Ohm'schen Gesetzes, dass der reducirte Leitungswiderstand $R = 6,30$ Drahtwindungen des Regulators und dass der Widerstand, welchen der Strom bei seinem Durchgange durch die Bestandtheile des Kohlenelementes selbst erfährt, dem von $6,30 - 5 = 1,30$ Windungen gleichkommt. Man hat demnach

$\operatorname{tng} 30^\circ = \frac{K}{6,30}$; $\operatorname{tng} 16^\circ,1 = \frac{K}{2 \cdot 6,30}$ und es muss ferner seyn:

$\frac{\operatorname{tng} 30^\circ}{3} = \operatorname{tng} 10^\circ,9 = \frac{K}{3 \cdot 6,30}$ und eben so

$2 \operatorname{tng} 30^\circ = \operatorname{tng} 49^\circ,1 = \frac{K}{6,30/2} = \frac{K}{1,30 + 1,85}$.

In der That wird das vorletzte Resultat erhalten, wenn der Strom eines Elementes genöthigt wird durch 17,60 Windungen zu laufen; das letzte, wenn nur 1,85 Windungen eingeschaltet werden. Die Kraft K selbst findet man = 3,64, und man ist nunmehr im Stande, je nach der Länge des eingeschalteten Drahtes die Ablenkung, welche eintreten muss, im Voraus mit Sicherheit zu berechnen.

405. Die Stromstärke wächst proportional mit der Kraft. Wir hatten vorher (nach Annahme) gefunden, dass ein Kohlenelement mit 5 Regulatorwindungen einen Strom bewirkte, der die Nadel um 30° ablenkte. Der gesammte auf Windungen

reducirte Leitungswiderstand betrug hierbei 6,30. Man nehme ein zweites Kohlenelement und untersuche wie vorher den Widerstand seiner unmittelbaren Bestandtheile. Angenommen er betrage ebenfalls 1,30 Windungen; so werden beide Elemente hinter einander und mit 5 Windungen verbunden, einen Widerstand verursachen, der um 1,30 grösser ist als 6,30. Man ziehe daher 1,30 Drahtwindungen aus der Kette heraus. Der Widerstand ist hierdurch genau derselbe geworden wie früher, die Kraft aber verdoppelt. Die Nadel stellt sich bei $49^{\circ},1$. Es ist aber $\text{tng } 49^{\circ},1 = 2 \cdot \text{tng } 30^{\circ} = \frac{2 \cdot K}{6,30}$.

Fügt man noch 6,30 Windungen hinzu, so wird wieder die Ablenkung von 30° erhalten.

406. Wenn Kraft und Widerstand gleichzeitig und in proportionaler Weise zu- oder abnehmen, so bleibt die Stromstärke ungeändert. Man wähle mehrere constante Elemente aus, gleichgültig ob von derselben oder von verschiedener Art und sehe, wie viel Draht jedem einzelnen zugefügt werden muss, damit es für sich einen Ausschlag von 30° bewirkt. Es verhält sich in diesem Falle die Kraft K' irgend eines der gewählten Elemente zum Widerstande R' desselben wie 3,64 : 6,30; oder anders gesagt, wenn $K' = n$ mal 3,64, so muss auch $R' = n$ mal 6,30 seyn. Man verbinde nun alle diese Elemente in gleichem Sinne und setze die Summe der Drahtwindungen zu, welche erfordert wurden, um mit jedem einzelnen die Ablenkung von 30° zu erzielen; die Nadel wird sich wieder bei 30° feststellen, weil durch diese Verbindung Kraft und Widerstand in gleichem Verhältnisse zugenommen haben. Es ist nämlich allgemein

$$\frac{K + K' + K'' + \dots}{R + R' + R'' + \dots} = \frac{(1 + n + n' + \dots) K}{(1 + n + n' + \dots) R} = \frac{K}{R} = \text{tng } \varphi^{\circ}.$$

Eine Batterie aus noch so vielen gleichen Gliedern zusammengesetzt, kann also keine stärkere Ablenkung der Nadel bewirken als jedes einzelne dieser Glieder, sobald der Strom unmittelbar in den Galvanometerdraht geführt wird und letzterer so gewählt ist, dass er selbst keinen merklichen Widerstand verursachen kann.

407. Aufgabe: Die electromotorischen Kräfte K , K' u. s. w. verschiedener constanter Ketten sollen unter einander verglichen werden. Man verbinde jede dieser Ketten für sich mit der Tangentenbussole und Sorge durch Einschluss einer hinreichenden Menge Regulatordraht (r Windungen), dass eine gewisse Ablenkung von φ Graden erhalten wird; dann lasse man durch vermehrten Drahtzusatz (ϱ) die Nadel auf einen bestimmten Grad φ' herabsinken. — Diese Versuche führen je zu zwei Gleichungen, von der Art wie die folgenden:

$$\text{tng } \varphi = \frac{K}{R + r} \quad \text{und} \quad \text{tng } \varphi' = \frac{K}{R + r + \varrho}$$

aus man findet:

$$R + r = \frac{\operatorname{tng} \varphi'}{\operatorname{tng} \varphi - \operatorname{tng} \varphi'} \varrho \quad \text{und} \quad K = \frac{\operatorname{tng} \varphi \operatorname{tng} \varphi'}{\operatorname{tng} \varphi - \operatorname{tng} \varphi'} \varrho.$$

Kräfte K, K' ect. verhalten sich demnach wie die Anzahl Winden ϱ, ϱ' ect., welche bei jeder Kette zuzufügen sind, um den φ der Nadel von φ auf φ' zurückzuführen.

Um die Grove'sche, Bunsen'sche und Daniell'sche Kette einander zu vergleichen, wurde die Nadel zuerst auf 30° eingestellt, dann liess man sie auf 20° zurückgehen. Es ergab sich:

	r	ϱ	K
Grove'sche Kette	4,42	3,60	1
Bunsen'sche Kette	4,56	3,62	1
Daniell'sche Kette	1,72	2,10	0,584.

zu den beiden ersten Ketten verwendete Salpetersäure wog

Nach mehrjährigem häufigem Gebrauche, immer derselben Menge, erhielt man $K = 0,947$. Die unter Mitwirkung der Salpetersäure erhaltene Kraft nimmt also durch den Gebrauch nur wenig ab. Eine mit abgenutzter Säure gebildete Kette besitzt jedoch nur vergleichungsweise geringen Grad der Beständigkeit.

108. Der Leitungswiderstand eines Metalldrahts verhält sich wie seine Länge und umgekehrt wie der Querschnitt seines Querschnittes. Eine Bestätigung dieses Satzes erhält man z. B. aus folgendem Versuche. Ein Kohlenlenker mit 5 eingeschalteten Regulatorwindungen lenkte die Nadel um 30° ab. Vermehrte man die Zahl der Windungen bis auf 10 trat die Nadel bis auf $17^\circ,85$ zurück; wurde aber noch ein weiterer Argentandraht, von gleicher Dicke und Länge wie der beschlossene Theil des Regulatordrahts so eingeschaltet, dass Strom sich zwischen beiden theilen musste, so stellte sich die nämliche Stromstärke wieder her; d. h. der reducirte Widerstand blieb ungeändert, wenn Länge und Querschnitt des Drahtes proportional zunehmen. Ganz dasselbe Resultat wird erhalten, wenn man anstatt der beiden Drähte einen einzigen von gleicher Länge und doppeltem Querschnitte in die Kette einschliesst.

Nimmt man nun allgemein eine Regulatorwindung als Längeneinheit, die Querschnittsfläche des Regulatordrahts als Einheit des Querschnittes, so findet man die reducirte Länge eines beliebigen

Argentandrahts $r = \frac{l}{f}$. Befinden sich daher in einer Kette

verschiedene auf einander folgende Leiter, von gleichartigem Stoffe und ungleichen Dimensionen, so lässt sich der reducirte Werth derselben bestimmen, indem man die wahre Länge eines jeden durch seinen Querschnitt dividirt; die Summe dieser Quotienten

$$\frac{l}{f} + \frac{l'}{f'} + \frac{l''}{f''} + \dots = r + r' + r'' + \dots = R$$

die reducirte Länge sämmtlicher Leiter.

Beispiel: Ein Kohlenelement mit 5 Regulatorwindung eine Ablenkung von 30° ; der Durchmesser des Regulator beträgt 1,5 mm. Es wird ein 2 mm dicker Argent 8 Windungen lang eingeschaltet; wie viel Regulatorwindungen müssen abgewickelt werden um den früheren Ausschlag zu erhalten? Antwort 4,5 Windungen.

Wenn sich der Leitungsdraht in zwei oder mehrere lange, später wieder zusammenlaufende Aeste spaltet,

Fig. 164.



wie die Figur deutet, so verhält die zwischen den Nigungspunkten liegenden Stücke einziger Draht,

Querschnitt gleich ist der Summe der Querschnitte der v denen Aeste. Die durch einen Ast laufende Electricität verhält sich also zur gesammten circulirenden Electricität, Querschnitt dieses Astes zur Summe der Querschnitte säm Aeste. Haben die einzelnen neben einander her laufenden ungleiche Längen, so gilt dieselbe Regel für die auf gleiche reducirten Querschnitte derselben. Es sey $q = \frac{\lambda}{\psi}$ die angenommene Einheit des Querschnittes reducirte Länge Astes, so ist $\frac{1}{q}$ der auf die Längeneinheit reducirte Querschnitt selben; folglich der reducirte Querschnitt sämtlicher V gungen: $\frac{1}{q} + \frac{1}{q'} + \frac{1}{q''} + \dots = \frac{1}{r}$, wo r die auf dem Durchmesser des Regulatordrahts reducirte Länge aller zwischen b liegenden Drahtstücke vorstellt. Wenn nun diese Verzwe im Kreise einer galvanischen Kette liegen, so verhält sich ein Zweigstrom q zur ganzen Stromstärke Q , wie der Querschnitt $\frac{1}{q}$ zum reducirten Querschnitte sämtlicher

$$\text{nämlich } q : Q = \frac{1}{q} : \frac{1}{r}$$

$$\text{oder auch } q : Q = r : q$$

woraus folgt $Qr = qe = q'e' = q''e''$ u. s. w.

Beispiel: Es sey K die Kraft eines Kohlenelementes, R der Leitungswiderstand, R' eine Anzahl in die Kette gebrachter Regulatorwindungen, q die durch denselben gehende Stromstärke. Es werde neben dem Regulatordraht ein anderer Draht von der reducirten Länge q' angebracht, so dass sich der Strom in beide vertheilen muss. Wie viele Windungen des Regulators müssen abgewickelt werden, damit der durch denselben gehende Strom die anfängliche Stärke q wieder gewinnt? Wenn die bleibenden Windungen

ϱ , die ganze Stromstärke mit Q , der reducirte Leitungswiderstand beider Aeste mit r bezeichnet werden, so lassen sich die drei Gleichungen bilden:

$$Q = \frac{K}{R+r}; \quad Qr = q\varrho; \quad \frac{1}{r} = \frac{1}{\varrho} + \frac{1}{\varrho'}$$

aus welchen die drei Unbekannten Q , r und ϱ abgeleitet werden können.

Man findet $\varrho = \frac{(K - qR)\varrho'}{q(R + \varrho')}$;

Die Bedingungen der Aufgabe führen aber auch noch zu einer vierten Gleichung $q = \frac{K}{R+R'}$; wenn man aus dieser den Werth $K = qR + qR'$ in den vorher gefundenen Ausdruck von ϱ , für K substituirt, so erhält man die einfachere Formel $\varrho = \frac{R'\varrho'}{R + \varrho'}$.

Hat man ϱ durch einen Versuch ausgemittelt, und ist dagegen R , d. h. der gesammte Leitungswiderstand der Kette, nach Abzug des Regulatordrahts unbekannt, so findet man $R = \frac{(R' - \varrho)\varrho'}{\varrho}$.

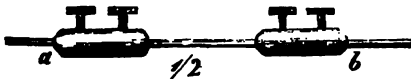
Dieses von Wheatstone angegebene Verfahren R zu bestimmen ist besonders dann sehr empfehlenswerth, wenn man sich auf die Anzeigen eines Galvanometers nicht ganz verlassen kann.

Wenn der ganze Strom einer constanten Kette genöthigt wird durch den Ring der Tangentebusssole zu gehen, während man den Draht eines Multipliers, der bestimmt ist weit schwächere Ströme zu messen, einer Verzweigung derselben Kette einschliesst, so hat man, durch Veränderung der Länge dieses Zweigdrahts, es ganz in der Gewalt einen mehr oder weniger grossen, messbaren Bruchtheil des Stroms durch das zweite Galvanometer gehen zu lassen. Man erhält hierdurch ein sehr einfaches Mittel, die Anzeigen zweier Instrumente vergleichbar zu machen.

409. Der Leitungswiderstand im Umfange einer geschlossenen electricischen Kette ändert sich nicht nur mit den Dimensionen eines jeden eingeschalteten Drahts, sondern auch mit der einem jeden Verbindungsstücke eigenthümlichen Leitfähigkeit.

Beispiel: Der Schliessungsdraht einer constanten Kette wurde

Fig. 165.



durchgeschnitten und an den hierdurch entstandenen Enden a und b (Fig. 165) wurden Schraubenklemmen befestigt. Man gewann hierdurch

ein sehr einfaches Mittel Drähte von bestimmter Länge, durch Einklemmen zwischen die Schrauben rasch in den Kreislauf des Stroms einzuschliessen und leicht wieder durch andere zu ersetzen. Zuerst wählte man als Verbindungsstück einen kurzen Kupferdraht von 2,062 Mtre Durchmesser, an dessen Stelle, nachdem der Strom mit Hilfe des Regulators zu einer bestimmten Stärke gebracht worden war, ein anderer Kupferdraht von derselben Dicke, aber von 9,3 Mtre Länge (nach Abzug des herausgenommenen Stücks) eingesetzt wurde. Die Stromstärke hatte dadurch abgenommen, und um die frühere Stellung der Nadel wieder zu erreichen, mussten 0,638 Mtre Argentandraht aus der Kette entfernt

werden. Der Kupferdraht auf den Querschnitt des Regulators (1,504 mm²) reducirt, entsprach einer Länge von 4,94 Mtr verhält sich 0,638 : 4,94 = 1 : 7,75. Bei einerlei Querschnitt l folglich 1 Mtr Argentandraht denselben Widerstand wie 7,75 dieses Kupferdrahtes (eisenhaltiges Kupfer des Handels); was dasselbe sagt: die Fähigkeit dieses Kupfers, die Elect durchzulassen, war mehr als 7,7 mal so gross als das Leitungsmögen des Argentans. Das Leitungsvermögen des reinen Kupfers auf dieselbe Weise bestimmt, wurde 11,83 mal grösser, das reinen Silbers 12,40 mal grösser als dasjenige des Neus gefunden.

Um die reducirt Länge eines Leiters durch Rechnung finden, muss folglich der durch Division seiner wirklichen Länge durch seinen Querschnitt erhaltene Quotient, noch mit einer multiplicirt werden, welche den der Materie eigenthümlichen Leitungswiderstand, oder den Widerstand für die Einheit der Länge und des Querschnitts ausdrückt. Nimmt man den Widerstand

Argentans als Einheit, so ist der jenes unreinen Kupfers gleich daher die reducirt Länge eines Kupferdrahts von derselber

$$\text{wie der oben geprüfte} = \frac{1}{7,7} \frac{l}{f}$$

Das obige Beispiel zeigt zugleich ein Verfahren, den eigenthümlichen Leitungswiderstand verschiedener Stoffe ausfinden zu machen. Diese Methode, ungeachtet sie in der Ausführung etwas ungenau ist und sehr zuverlässige Resultate verspricht, ist doch bis jetzt nur in einzelnen Fällen angewendet worden. In N. 364 ist eine Uebersicht der Leitfähigkeit mehrerer Metalle nach Riess mitgetheilt. Wenn man mit jeder dieser Zahlen in 100 dividirt, so man den Leitungswiderstand der betreffenden Körper bezogen auf das chemisch reine Kupfer als Einheit.

Silber . . .	0,672	Eisen . . .	5,663
Kupfer . . .	1,000	Platin . . .	6,444
Gold . . .	1,125	Zinn . . .	6,802
Cadmium . . .	2,602	Nickel . . .	7,604
Messing . . .	3,610	Blei . . .	9,690
Palladium . . .	5,501	Neusilber . . .	11,286

410. Der Leitungswiderstand der flüssigen Bestandtheile der electrischen Kette ist ausserordentlich viel grösser als der der Metalle. Um den Werth desselben für irgend eine Flüssigkeit kennen zu lernen, kann man folgenden Weg einschlagen: einen viereckigen Kasten von festem Holze, (Fig. 166), 0,3 Mtr hoch, 0,075 Mtr breit und etwa eben so tief, ist im Innern dick gelackelt, um das Eindringen der Flüssigkeit möglichst zu verzögern. Darauf befinden sich zwei Bretstücke, von welchen das eine

Fig. 166.



sitzt, das andere verschiebbar ist. Sie dienen um die in die Flüssigkeit eintauchenden Platten zu halten und nach Befinden deren Abstand zu verändern. Diese Platten, von gleicher Grösse wie der Querschnitt

astens, werden an den Kupferstreifen *c* festgeklemmt; letztere an den Bretstücken angeschraubt und ihre umgebogenen Enden in die zur Aufnahme der Poldrähete bestimmten Quecknapfe *a*. Wenn man nun diesen Apparat in die Kette einsetzt und in den Kasten eine beliebige Flüssigkeit bringt, so man sogleich, dass der Widerstand mit der Dicke der zwischen beiden Platten befindlichen flüssigen Schicht zunimmt. Doch ist man, dass die erste Lage Flüssigkeit zwischen den Platten dieselbe auch nur wenige Linien betragen, gewöhnlich auffallend grössere Verzögerung bewirkt, als jede folgende dicke Schicht. Lässt man aber diese erste Lage z. B. die ersten Millimetre ganz unberücksichtigt, so ergibt sich für den Theil der eingeschichteten Flüssigkeit ein Leitungswiderstand, welcher gleich wie bei metallischen Leitern, der Länge und dem Querschnitte umgekehrt proportional ist, übrigens einer Flüssigkeit zur andern wechselt. Der Grund des von dem Ohm'schen Gesetze abweichenden Widerstandes in der dünnen die Platten unmittelbar berührenden flüssigen Schicht, ist die Zersetzung der Flüssigkeit bewirkte Polarisation der metallischen Grenzflächen. Die Grösse der Abweichung wechselt daher je nach der Grösse der, mit dem Worte Polarisation bezeichneten, electromotorischen Gegenkraft. Angenommen die Flüssigkeit im Kasten war verdünnte Schwefelsäure von 1,1 spec. Gew., deren Querschnitt betrug 2812 Q. Mmtr und die eingetauchten Platinplatten wurden nach und nach in verschiedenen Abständen, parallel einander gegenübergestellt, so ergab sich bei einer Ablenkung der Nadel und 5 Mmtr Abstand der Platten ein Widerstand, der demjenigen von 33,69 Regulatorwindungen gleich war. Für je 10 Centimetre vergrösserten Abstand konnte die Widerstandszunahme durch 6,56 Regulatorwindungen ersetzt werden. Nur der letztere ausschliesslich von dem Leitungsvermögen der Flüssigkeit abhängige Widerstand blieb bei jeder Veränderung der Stärke derselbe; dagegen die erste, im Zwischenraume der ersten Millimetre bewirkte Verzögerung änderte sich mit der Stärke des Stroms und mit der Beschaffenheit der eingetauchten Platten.

Man kann den Widerstand dieser Flüssigkeit auf den einer Regulatorwindung zurückführen, deren Länge 75 Centimetre und

deren Querschnitt 1,776 Q. Millimetre ausmachte, so findet Verhältniss wie 1 : 77585. D. h. die Leitfähigkeit des Ne (des schlechtesten Leiters unter den Metallen) ist 77585 mal so gering als die der verdünnten Schwefelsäure bei 1,115 spec.

Auf dem angedeuteten Wege hat E. N. Horsford den Leitungswiderstand verschiedener Flüssigkeiten untersucht. Die folgende Tabelle ist aus seiner Arbeit entlehnt.

Namen und Beschaffenheit der Flüssigkeit.	Leitungswiderstand der des	
	Neusilbers = 1;	Neusilber Sil
Schwefelsäure von 1,10 spec. Gew.	75673	
„ „ „ 1,15 „ „	67770	
„ „ „ 1,20 „ „	56180	
„ „ „ 1,24 „ „	56180	
„ „ „ 1,30 „ „	56180	
„ „ „ 1,40 „ „	82520	11
Kochsalzlösung 27,6 Grm in 500 C. C. Wasser	577100	7
„ „ 21,3 „ „ „ „ „	769460	9
„ „ 10,65 „ „ „ „ „	1488200	18
„ „ 5,325 „ „ „ „ „	2750560	34
Chlorkaliumlösung 27,6 Grm in 500 C. C. Wasser	578000	7
Kupfervitriollösung; 100 C. C. enthalten 15,093 Grm Cu O, SO ₄	972320	12
Kupfervitriollösung; dieselbe Salzmenge im doppelten Volume Flüssigkeit	1410200	17
Zinkvitriollösung; 100 C. C. enthalten 7,287 Grm Zn O, SO ₄ , H ₂ O	1896000	23

Diese Angaben gelten für eine mittlere Temperatur von ungefähr 15°C. Die Leitungswiderstände nehmen mit zunehmender Temperatur vermehrt sich der Leitungswiderstand umgekehrt proportional sehr merklich. Doch fehlt es hierüber bis jetzt an verlässigen Erfahrungen.

Sehr bemerkenswerth ist die geringe Fähigkeit des reinen Wassers die Electricität zu leiten. Sein Leitungsvermögen ist fast 13,7 Millionen mal geringer als das des Neusilbers, oder 169,4 Millionen mal geringer als das des Kupfers. Gleichwohl ist Regenwasser ein guter Leiter, verglichen mit trockenem Wasser und trockenem Erdreiche. Die tieferen mit Wasser reichlich getränkten Schichten leiten vergleichungsweise gut und zeigen dabei das Eigenthümliche, dass sie, durch (in Brunnen) eingesenkte Metallplatten von etwa 4 Q in den Kreislauf einer electricischen Kette eingeschlossen, einen Widerstand wirken, der von dem Abstände beider Platten beinahe ganz unabhängig ist. Derselbe kommt dem eines Neusilberdrahts von 380 Meter Länge bei 1 mm Durchmesser nahe gleich.

411. Man vermindert den Leitungswiderstand der Bestandtheile im Inneren galvanischer Ketten durch Vermeidung der eingetauchten Platten und Verringerung des Abstandes zwischen jedem Plattenpaar befindlichen, mit Flüssigkeit ausgefüllten Zellen. Weit mehr erreicht man jedoch bei den constanten Ketten durch die Beseitigung der Polarisation.

Die Kohlencylinder, so wie dieselben gegenwärtig nach Daniell'sen's Vorschrift in Marburg verfertigt werden, haben in

rchmesser von 5 Centimeter bei höchstens 10 Centimeter eingetauchten Theils. Die dem Zinkcylinder gegenüber Fläche hat also ungefähr 150 Q. Centim. Inhalt. Der Abstand der Flüssigkeiten begränzenden Flächen beträgt nicht 5 mm. Werden zwei dieser constanten Ketten neben verbunden, d. h. Kohle mit Kohle, Zink mit Zink, so dass einziges Kettenglied von doppelter Grösse der eingetauchten vorstellen, so wird bei unveränderter Grösse der electrischen Kraft, der Widerstand im Innern der Kette auf die ermindert. Der Vortheil der daraus entspringt, lässt sich

der Formel: $q = \frac{K}{\frac{R}{2} + r}$ leicht übersehen. Offenbar nur

enn die durch die flüssigen Bestandtheile der Kette verursachte Verzögerung des Stroms, verglichen mit dem Leitungswiderstand des übrigen Theils der Kette, gross ist, kann es von Nutzen werden, mehrere Elemente neben einander zu einem grösseren zu verbinden.

Wenn man zuerst ein constantes Element, dann zwei neben einander zur Kette schliesst und durch Einschieben von Argentanzellen Strom in beiden Fällen zu gleicher Stärke regulirt, so lassen sich die Ergebnisse dieser Versuche zu den Gleichungen:

$$q = \frac{K}{R + r} \quad \text{und} \quad q = \frac{K}{\frac{R}{2} + r'}$$

sich ergibt, dass $\frac{R}{2} = r' - r$ also $R = 2(r' - r)$. Auf

demselben Wege fand man, bezogen auf Regulatorwindungen und deren C. Flächeninhalt der eingetauchten Platten den Leitungswiderstand im Innern eines constanten

Elementes = 0,99 Windungen des Regulatordrahts

Elementes = 1,20

„ „ „ „

Elementes = 1,24

„ „ „ „

Der Leitungswiderstand in diesen drei Ketten ist also nicht sehr verschieden und bei den angegebenen Dimensionen übertrifft nicht sehr beträchtlich. Hat man eine grössere Anzahl solcher Elemente zur Verfügung, so entsteht häufig die Frage, in welcher Weise der Zusammenstellung den grösstmöglichen Effekt zu erzielen. Es sey im Ganzen n Elemente zu einer Kette von x aufeinander folgenden Gliedern zusammengestellt, dergestalt dass je

Elemente neben einander ein um eben so vielmal vergrössertes

Element vorstellen. Der Leitungswiderstand eines jeden Gliedes

lässt sich also auf den Werth $\frac{Rx}{n}$ zurückgeführt. Setzt man

den Widerstand des übrigen Theils der Kette = r , so wird die Stromstärke $Q = \frac{x \cdot K}{x \cdot \frac{Rx}{n} + r}$ ihren grössten Werth erhalten, wenn

$\frac{Rx \cdot x}{n} = r$; d. h. wenn die Säule so zusammengestellt worden ist, dass der Widerstand im Innern derselben dem der übrigen Verbindungsstücke gerade gleichkommt.

Es seyen z. B. 4 Kohlenelemente vorhanden, und der Widerstand r entspreche dem von nur einer Regulatorwindung, so würden sie am besten zu zwei neben einander geordnet werden. Kömmt aber r dem Widerstande von 4 Windungen gleich, so würde man die vier Elemente hinter einander verbinden müssen.

412. Bestimmung des Widerstandes der Polarisation. Die Hindernisse welche flüssige Verbindungen dem Durchgange des electrischen Stroms entgegensetzen, können wie wir wissen, durch zwei wesentlich verschiedene Ursachen herbeigeführt werden; einestheils nämlich durch den Leitungswiderstand, anderntheils durch die Polarisation der eingetauchten Platten. Dieser letztere Widerstand, wenn auch eine Folge des Stroms, verhält sich doch, so lange er vorhanden ist, als eine selbstthätige electromotorische Kraft und ist als solche der ursprünglichen Betriebskraft des Stromes entgegengesetzt; er muss folglich von der letzteren in Abzug gebracht werden, wenn es sich darum handelt, das Maass der wirklich thätigen Kraft einer Kette kennen zu lernen.

Beispiel: Vier Kohlenzink-Paare waren mit einem Wasserzersetzung-Apparate (Platinplatten in verdünnter Schwefelsäure) verbunden und die Stromstärke durch Zusatz von Argentandrat auf 40° gebracht. Um die Ablenkung auf 30° zurückzuführen, mussten noch 4,30 Windungen eingeschaltet werden. Dieselben 4 Elemente nach Ausschluss der Zersetzungszelle, wie vorher auf 40° Ablenkung regulirt und dann durch Drahtzusatz der Strom auf 30° zurückgeführt, bedurften hierzu 7,24 Windungen. Die Betriebskraft in beiden Fällen (siehe N. 407) verhielt sich also wie 4,30 : 7,24. Der Unterschied 2,94 bezeichnet den proportionalen Werth der Polarisation. Die Kraft eines Kohlen-Zink-Paars, nämlich $\frac{7,24}{4} = 1,81$ der Einheit gleich gesetzt, findet man hiernach die Gegenkraft der Polarisation, hervorgerufen unter dem Einflusse eines Stroms von 40° (d. h. eines Stroms der in der Minute 35,38 C. C. Wasserstoffgas liefert) $\frac{2,94}{1,81} = 1,6$. Dieser Werth gibt indessen nicht bloss für die genannte Stromstärke, sondern mit geringen Abweichungen für starke Ströme überhaupt, so oft derselben ein Voltameter mit Platinplatten eingeschlossen ist. Bei

nen unter der für eine lebhaft Wasserzersetzung geeigneten zeigt sich eine bedeutend geringere, mit der Stromstärke allgemeinen abnehmende Gegenkraft. Die Grösse derselben ist übrigens ganz unabhängig von der Einsenkungstiefe der Elektroden so wie von der Dicke der flüssigen Schicht zwischen denselben.

Der Widerstand eines mit der galvanischen Kette verbundenen Voltmeters lässt sich nunmehr leicht der Rechnung unterwerfen, wenn man der Ohm'schen Formel die Gestalt gibt:

$$Q = \frac{nK - P}{nR + r}$$

wo Q den Einfluss der Polarisation vorstellt. Für die Grove'sche Bunsen'sche Säule ist $P = 1,6 K$ (Platinplatten in Schwefelsäure vorausgesetzt); für die Daniell'sche Säule $P = 3 K$.

Man begreift hiernach, warum die Wasserzersetzung zwischen zwei Platten die Kraft von wenigstens 2 constanten Kohlen-Zink-Paaren, oder von wenigstens 4 constanten Kupfer-Zink-Paaren in Anspruch nimmt.

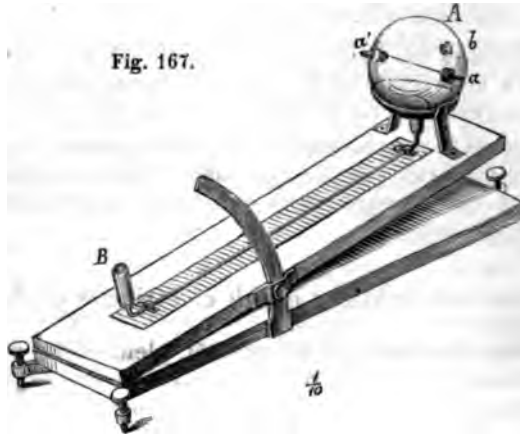
Wärmeentwicklung durch electricische Ströme.

13. Wenn die bewegte Electricität, gleichgültig von welcher Seite sie abstammt, ihren Weg durch einen metallischen Leiter nehmen muss, dessen Querschnitt nicht gross genug ist, um den Strom unverzögert durchlassen zu können, so erwärmt sich derselbe. Metalldrähte von geringer Leitfähigkeit, z. B. dünne Platindrähte, können hierdurch bis zum Weissglühen, ja bis zum Schmelzen erhitzt werden; sind sie zugleich leicht oxydirbar wie Eisen, so entzünden sie sich und verbrennen.

14. Die näheren Bedingungen dieser Wärmeentwicklung sind erst durch eine umfassende experimentelle Arbeit von Peter Schlegel aufgehell't und festgesetzt worden. Als Electricitätsquelle diente ihm eine Reibungselectricitätsmaschine, deren positiver Contact mit der inneren Belegung einer gut isolirten Batterie in unmittelbarer Metallverbindung stand. Die Flaschen der letzteren, jede mit 1,5 Fuss Belegung, hatten möglichst gleiche Grösse und Glasdicke. Menge und Dichtigkeit der angehäuften Electricität wurden auf die schon früher (S. 283) angegebene Weise gemessen. Die zu diesem Zwecke verwendete, sorgfältig gearbeitete Daniell'sche Flasche hatte $\frac{1}{2}$ Q. F. Belegung auf jeder Seite, und zwei Kugeln liessen sich auf sehr genau messbare Entfernungen voneinander stellen. Dieser Abstand betrug bei dem grösseren Theile der Versuche nur $\frac{1}{2}$ Linie und überstieg niemals 1 Linie. So geringe Schlagweite war nöthig, damit nach jeder Entladung nur ein geringes Residuum in der Maassflasche blieb, und die Experimentalphysik.

folglich die Ableitung der Batterie (siehe S. 283) so gut wie ständig in den natürlichen Zustand zurücktrat. Nur unter Bedingung konnte die Anzahl Entladungen der Lane'schen F als Maass für die angesammelte Electricitätsmenge mit Sic genommen werden.

Als Maass für die durch den Entladungsschlag der B erzeugte Wärme gebrauchte Riess ein zu diesem Z ursprünglich von Harris angegebenes Luftthermometer v gende Einrichtung. Eine Glaskugel A (Fig. 167.) von wenig



3 Zoll Durchmesser, wird an drei Stellen geöffnet, und zwar dass zwei Oeffnungen a und a' diametral gegenüberliegen. Diese sind durchbohrte, ungefähr 1 Zoll lange Messingaufsätze, die äusserlich einen Schraubenzug haben und mit noch dazwischen gelegter Lederscheibe luftdicht verschlossen werden können. Die dritte Oeffnung b ist mit einer durchbohrten Fassung versehen und durch einen eingeschliffenen Stöpsel dicht zu verschliessen; sie dient um vor dem Beginne eines Versuches die Spannung der innern und äussern Luft ins Gleichgewicht zu setzen. Die Kugel A sitzt an dem einen Ende einer 200 Linien langen $0''$,45 weiten Glasröhre, an deren anderem Ende ein $2''$,5 hohes, $6'''$,3 weites Glasgefäss B angelöthet ist. Das Gefäss ist auf einem Brette über einer in Linien getheilten Scale befestigt. Dieses Brett wird auf die in der Figur ersichtliche Weise mit Metallbogen und Klemmschraube, gegen eine mit ihm durch Gelenke verbundene wagerechte Unterlage unter einem passenden Winkel (Riess blieb bei $6\frac{1}{2}^{\circ}$ stehen) festgestellt. In das Gefäss wurde durch Alkohol stark verdünnte mit Cochenille gefärbte Schwefelsäure in der Menge gegossen, dass sie im Gefässe das Rohr ungefähr 100 Linien einnahm. Um den Draht, dessen Ende

Fig. 168.



mung untersucht werden sollte, in der Kugel auszuspannen, werden zwei Klemmen von der in Fig. 168 abgebildeten Art gebraucht. Das viereckige Drahtstück *a* (2'' Seite, 7''⁸ lang) geht ohne *g* durch entsprechende Oeffnungen der Messingansätze *r'*; es hat an dem einen Ende eine männliche Schraube *d* tragender Schraubenmutter, am andern eine conische Ver-, die sich in einer weiblichen Schraube endigt. In die Ver- passt ein kleiner Kegel *b*, der vorn eingeschnitten ist und nschrauben den in die Spalte gelegten Draht fest einklemmt. m der Draht in der gehörigen Länge, wenn er für die Kugel *g* seyn sollte, spiralförmig gewunden, in den beiden Kegel- en befestigt ist, wird an der eiuem Klemme anstatt der benmutter ein Metallstab von der Länge des Kugeldurch- rs aufgeschraubt, welchen man dann mit Klemme und Draht urch die Kugel zieht. Wenn dann der Hülsenstab wieder ab- men worden, dient die Mutterschraube zum Festspannen ahts. Die Hülsen, welche über die Ansätze der Thermome- el geschraubt sind, haben an ihren Enden conische Oeffnun- a welche die Zuleitungsdrähte gesteckt werden. Der eine Drähte führte in fortlaufender Metallverbindung zur äusse- legung der Batterie; der andere zu einer isolirten Kugel, er eine ähnliche mit der innern Belegung der Batterie zu- ehängende Kugel gegenüberstand. Zwischen beiden, eben- isolirt, befand sich eine, um excentrische Axe bewegliche tange, so gestellt dass sie, wenn man sie niederfallen liess Kugeln verbinden musste*). Hierdurch wurde die Kette lassen und die Entladung bewerkstelligt. Bildete nun der in ftthermometer enthaltene Draht einen Theil des Schlies- bogens, so wurde er erwärmt und erwärmte seinerseits wie- e umgebende Luft, aus deren Spannungszunahm und Vo- rgrößerung durch Zurückdrängen der Flüssigkeitssäule der mte Wärmezufluss oder auch die momentane Temperatur- ung des Drahtes auf bekannte Weise berechnet werden t. Als nothwendige Grundlage dieser Rechnung galt die den Gang der Versuche gerechtfertigte Voraussetzung, dass rme des Drahtes in die Luft übergegangen war und dass raus entspringende Eindruck auf die Flüssigkeit des Rohrs ndig stattgefunden hatte, bevor nur der geringste Theil die- rne auf die Glashülle übertragen werden konnte. Gebrauchte s Vorsicht, die Versuche bei ruhiger Luft und (von einem he zum andern) unveränderlichem Barometerstande anzu- so durften die unmittelbaren Anzeigen (*f*) des Luftthermo-

ogg. Ann. 40. S. 339., auch Dove Rep. 2. S. 97.

meters, d. h. die Anzahl Linien um welche die Flüssigkeit zur gedrängt wurde, den entwickelten Wärmemengen (w) proportional gesetzt werden. Man erhielt also $w = \beta t$, wo β eine beständig wesentlich nur von der Beschaffenheit und Menge der das Thermometer ausfüllenden Luftmasse abhängige Grösse vorstellt. Man gewann hierdurch den Vortheil, in so weit es sich nur die Aufstellung von Gesetzen handelte, die oben angedeutete grosser Schärfe nicht ausführbare Rechnung ganz umgehen können.

415. Wärmeerzeugung durch Entladungen von gleicher Stärke. Welchen Einfluss Quantität und Dichtigkeit der electricischen Anhäufung auf die Wärmebildung äussern, er man aus den folgenden Versuchsreihen.

S	2		3		4		5		6
	τ		τ		τ		τ		τ
q	beob.	ber.	beob.	ber.	beob.	ber.	beob.	ber.	beob.
2	1,5	1,8							
3	4,3	4,0	3	2,6	2	2,0	1,5	1,6	
4	6,7	7,0	4,5	4,7	3,2	3,5	3,0	2,8	2,6
5	9,3	11,0	7,0	7,3	5,2	5,5	4,5	4,4	3,8
6	13,4	15,8	9,7	10,6	7,3	7,9	6,5	6,3	5,5
7			15	14,4	11,0	10,8	8,8	8,6	7,3
8			17,5	18,8	14,1	14,1	11,3	11,3	9,3
9					17,8	17,8	14,3	14,3	11,7
10							16,7	17,6	14,3

Die Beschaffenheit des Schliessungsbogens war bei allen Versuchen genau gleich. Der im Luftthermometer ausgespannte Platindraht war 35 Par. Lin. lang, seine Dicke betrug $0,1094$.

Die oberste wagerechte mit S bezeichnete Reihe gibt die Zahl angewendeter Batteriefaschen; aus der ersten Vertikalspalte mit q bezeichnet, erfährt man die Quantität der Ladung, angedrückt in Entladungen der Maassflasche; deren Kugeln auf 1 l Abstand gestellt waren. Die mit τ überschriebenen Vertikalspalten enthalten die Anzeigen des Luftthermometers. Alle in derselben

*) Streng genommen ist β kein constanter Werth, sondern ändert sich auch mit dem Gewichte und der Wärmecapacität des Drahtes, indem in eine der Temperaturerhöhung der Luft correspondirende Wärmemenge in Metallmasse zurückbleiben muss. Es ist also einleuchtend, dass nach obigen Formel bei denjenigen Drähten, welche die meiste Wärme zurückhalten w etwas zu gering gefunden wird. — Wenn jedoch, wie bei den Versuchen von Riess, die Luftmasse des Thermometers gross, der eingeschlossene Metall aber von sehr geringer Masse ist, so hat der begangene Fehler keinen Einfluss auf die Resultate.

gerechten Linie aufgezeichneten Temperaturen beziehen sich gleiche Quantität der Ladung, alle in derselben lothrechten ie auf gleiche Oberfläche der Batterie.

Man sieht nun sogleich dass die, gleichen Electricitätsmengen sprechende Wärmeerzeugung, je nach der Zahl der Flaschen, rin diese Electricität vertheilt war, sehr ungleich ausfällt. Nähere rachtung lehrt, dass der Wärmeeffect für gleiche Elec- cititätsmengen der Oberflächengrösse umgekehrt, oder s dasselbe sagt: der Dichtigkeit der Anhäufung direkt oportional ist. D. h. ein gegebenes Quantum Electricität, ch denselben Schliessungsbogen entladen, erzeugt bei doppel- Dichtigkeit eine doppelte, bei dreifacher Dichtigkeit eine drei- he Menge freier Wärme u. s. w. Die nach dieser Annahme be- dneten Werthe rechtfertigen dieselbe.

Für ungleiche Electricitätsmengen aber gleiche ichtigkeit, z. B. für die doppelte Menge auf der doppelten An- hl Flaschen vertheilt, oder die dreifache Menge auf der drei- hen Anzahl u. s. w., steigt die Wärmeentwicklung in radem Verhältnisse zur Quantität der Entladung.

Ver mehrt man die Ladung ohne Vergrösserung der verfläche, so wächst die Wärmemenge, wie das adrat der electricchen Anhäufung. Z. B. die doppelte dnung auf derselben Anzahl Flaschen, bewirkt die vierfache Er- hung des Thermometerstandes. Dieses Resultat ergibt sich genlich schon als eine nothwendige Folge der beiden vorher- enden Erfahrungssätze, weil bei fortgesetzter Anhäufung, im- r in derselben Flasche Menge und Dichtigkeit der Electricität schmässig zunehmen müssen. Es ist demnach allgemein $\tau = \alpha \frac{q^2}{S}$ dzwarinsbesondere für die gewählten Versuchsreihen $\tau = 0,88 \frac{q^2}{S}$.

Die Wärmemenge, welche durch die Entladung einer etrischen Batterie im Schliessungsdrahte hervor- bracht wird, steht im zusammengesetzten Verhält- nisse der Quantität und Dichtigkeit der angehäuften etricität.

416. Einfluss der Beschaffenheit des Schliessungs- gens auf die Wärmeerzeugung in einem bestimmt gewählten und unveränderlichen Theile desselben. überaus gross die Geschwindigkeit ist, womit die Entladung der electricchen Batterie vor sich geht, so weiss man doch, dass gewisses Maass von Zeit dazu erforderlich ist; und man weiss h, dass Vermehrung des Leitungswiderstandes dieses Maass grössert (363). Um den Einfluss der Verzögerung auf die rmende Kraft des Stromes kennen zu lernen, untersuchte Riess

den Wärmeeffect, welchen ein und derselbe Platindraht im Luftthermometer bei unveränderter Beschaffenheit des Schliessungsbogens hervorbrachte. In den Kreis des letzteren wurde zu dem Ende Henley'scher Auslader eingeschaltet, zwischen dessen Armdrähte von bekannten Dimensionen nach einander eingeklemmt wurden. Denkt man sich nun den Widerstand des Schliessungsbogens bei unmittelbarer Verbindung beider Arme des Ausladers als Maass-Einheit, so wird jeder Zusatzdraht zu dieser Einheit einen Bruchtheil hinzufügen, dessen Grösse von der Länge, Dicke und dem Stoffe des zugesetzten Drahtes abhängig ist.

Im Luftthermometer befand sich ein Platindraht von 86^{''},2 Länge und 0^{''},0792 Dicke. In den Kegelklemmen des Ausladers wurde Kupferdraht von 0^{''},29 Dicke befestigt. Je nach der Länge des Drahtes und bei gleichbleibender Quantität und Dichtigkeit der Verbindung wurden unter vielen andern wohl übereinstimmenden Resultaten die folgenden erhalten (Pogg. Ann. B. 43. S. 65):

Länge des Kupferdrahts. Stand des Lufttherm.

l. Par. Fuss.	τ	a
0	12,5	
9,6	11,0	0,0142
49,0	7,7	0,0130
98,4	5,4	0,0134
147,7	4,3	0,0129
246,4	3,0	0,0129

Die Erwärmung nimmt ab, wenn die Drahtlänge zunimmt. Setzt man die Zunahme des Widerstandes für jeden Fuss Kupferdraht = a , und nimmt man an: dass die Wärmeentwicklung im Luftthermometer abnimmt, in demselben Verhältnisse in welchem der Leitungswiderstand sich vergrößert, so ist:

$$1 : (1 + a l) = \tau : 12,5.$$

Die Uebereinstimmung der mittelst dieser Gleichung berechneten Werthe von a in der dritten Spalte, rechtfertigt obige Voraussetzung.

Zur Bestimmung des Einflusses der Dicke des Schliessungsdrahtes sind unter andern die folgenden Versuche mit Platindrähten von ungleicher Dicke angestellt worden.

Drahtlänge. Drahtdurchmesser.

Par. Lin.	Par. Lin.	τ	a
0		21,6	
144	0,232	19,7	0,0000361
144	0,153	17,8	0,0000347
144	0,100	14,6	0,0000336
17	0,065	18,9	0,0000359

Die Entfernung beider Kugeln der Maassflasche betrug bei a

gleich wie bei allen vorhergehenden Versuchen 1''; die Quantität der Electricität entsprach jedesmal 8 Entladungen und war auf 4 Flaschen vertheilt. a bezeichnet die Widerstands-Vermehrung durch den Zusatz eines Drahtstücks von 1 Linie Länge und 1 Linien Durchmesser. Die gut übereinstimmenden Werthe von a sind nach Gleichung 1: $\left(1 + \frac{al}{d^2}\right) = \tau : 21,6$ berechnet worden. $\frac{l}{d^2}$ bedeutet die auf den Durchmesser 1 reducirte Länge eines eingetheilten gleichartigen Drahtes; $\frac{al}{d^2}$ die dadurch bewirkte Vermehrung des Leitungswiderstandes.

Aufschluss über das Verhalten ungleichartiger Drahtmasse giebt die folgenden von Riess (Pogg. Ann. B. 45. S. 4) mitgetheilten Versuche. Die Entfernung beider Kugeln der Maassflasche betrug $\frac{1}{2}$ Linie; die Electricitätsmenge entsprach jedesmal 14 Entladungen auf 4 Flaschen vertheilt. Der im Luftthermometer ausgenutzte Platindraht hatte bei 59'',25 Linien Länge 0,08196 Lin. Durchmesser. In den Kegelklemmen des Ausladers wurden nachfolgendermaßen befestigt:

Art von	Länge; Linien	Durchmesser	τ	γ
Platin	34,67	0,08196	16,8	
„	87,26		12,4	
„	143,50		9,8	1
Platin	110,08	0,08072	19,9	0,1038
„	141,60	0,08390	18,5	0,1548
„	125,00	0,07867	18,1	0,1742
Platin	99,80	0,08534	15,1	0,5611
„	68,00	0,08383	14,6	0,8787
„	48,00	0,08339	15,3	0,9481
Platin	61,80	0,08400	13,6	1,1795
„	38,50	0,08354	14,7	1,5020
Platin	84,90	0,08029	16,7	0,4042
„	65,30	0,08303	14,8	0,8531
Platin	58,40	0,08008	11,3	1,7525

den drei ersten Angaben mit Platindrähten und vermittelt der Correction

$$\left(1 + \frac{l}{nd^2}\right) : \left(1 + \frac{l'}{nd'^2}\right) = T : \tau$$

ist man die Zahl n (es ist $n = \frac{1}{a}$), womit die auf den Durchmesser 1 reducirte Länge eines Platindrahts, nämlich $\frac{l}{d^2}$, dividirt werden muss, um den Widerstand dieses Drahtes als Bruchtheil

vom Leitungswiderstande des übrigen Theils des Schliessungsbogens ausdrücken zu können. Man erhält durch Verbindung

des ersten mit dem zweiten Versuche $n = 16975$
 des zweiten mit dem dritten Versuche $n = 16922$
 des dritten mit dem ersten Versuche $n = 16863$

Das Mittel dieser drei Werthe 16920 an die Stelle von n in die Proportion $1 : \left(1 + \frac{l}{n d^2}\right) = \tau : x$ gesetzt, lässt sich die Anzeige x des Luftthermometers für den Leitungswiderstand 1, d. h. für den Fall berechnen, dass beide Arme des Henley'schen Ausladers unmittelbare Verbindung treten. Man findet $x = 22,2$. Mit Hülfe dieses Werthes und der Proportion

$$1 : \left(1 + \frac{l}{16920 d^2}\right) = \tau : 22,2$$

lässt sich nun für jeden beliebigen gewählten Thermometerstand die reducirte Länge $\frac{l}{d^2}$ eines Platindrahtes bestimmen, bei dessen Einschaltung in den Schliessungsbogen, welcher für sich den Leitungswiderstand 1 bewirkt, jene Anzeige T des Luftthermometers erhalten werden müsste.

Diese Betrachtungen auf die unter dem Einflusse verschiedener artiger Metalldrähte erhaltenen Wärmeeffekte angewendet, und berücksichtigend dass die reducirte Länge, z. B. des Silberdrahts beträgt $\frac{110,08}{(0,08072)^2} = 16891$; kann man fragen: welche auf denselben Durchmesser reducirte Länge Platindraht würde anstatt des Silberdrahtes eingeschaltet werden müssen, damit der Wärmeeffekt ungeändert, nämlich $T = 19,9$ bliebe? Die Antwort ist $\frac{l}{d^2} = 1753$. D. h. eine Länge von 1753 Platindraht verzögert den Entladungsschlag der Batterie eben so stark als ein Silberdraht von gleicher Dicke aber 16891 Länge. Der eigenthümliche Leitungswiderstand des Platins verhält sich folglich zu dem des Silbers, bei gleicher Länge und Dicke der Drähte wie 16891 : 1753, oder auch wie 1 : 0,1038, wenn der Widerstand des Platins als Einheit genommen wird. Sämmtliche in der mit γ überschriebenen Spalte aufgeführten Werthe, sind auf diese Weise berechnet worden. Mit Hülfe dieser Daten können nunmehr auch die in der Tabelle enthaltenen Anzeigen des Luftthermometers durch Rechnung controllirt werden, indem man in der Proportion

$$1 : \left(1 + \frac{l \gamma}{16920 d^2}\right) = T : 22,2$$

für l und d die Dimensionen eines beliebigen Drahtes für γ seinen eigenthümlichen Leitungswiderstand setzt.

Der eigenthümliche Leitungswiderstand eines Stoffes ist das Umgekehrte seiner Leitfähigkeit; z. B. die Leitfähigkeit des Silbers ist $\frac{16891}{1753} = 9,6$. Die bereits Seite 284 angeführten Zahlen sind so gefunden worden, nur dass man dort nicht die dem Platin, sondern die dem Kupfer entsprechende Zahl als Einheit gewählt hat.

Die bis dahin gewonnenen Resultate zusammengefasst gelangt man zu dem Ausdrucke

$$\tau = \frac{\alpha \cdot q \cdot q}{S \left(1 + \frac{l \gamma}{n d^2} \right)}$$

Die Wärmeezeugung in einem Drahte, der Bestandtheil des Schliessungsbogens ist, steht im zusammengesetzten Verhältnisse der Quantität und Dichtigkeit der Ladung und verhält sich umgekehrt wie die auf vergleichbares Maass reducirte Länge sämmtlicher Theile des Schliessungsbogens.

417. Abhängigkeit des Wärmeeffectes von der Entladungszeit. Wir wissen aus dem Ohm'schen Gesetze, dass die Menge Electricität, welche in der Zeiteinheit durch den Schliessungsdraht einer galvanischen Kette geht, bei gleichbleibendem Widerstande der electromotorischen Kraft proportional ist; oder anders gesagt: ein gegebenes Quantum Electricität bedarf zu seinem Abflusse einer Zeit, die sich in demselben Verhältnisse verkürzt, in welchem die electromotorische Kraft zunimmt. Das Maass der electromotorischen Kraft ist die electriche Differenz oder die Dichtigkeitsverschiedenheit an beiden Endpunkten der offenen Kette. Wir haben also Grund zu dem Schlusse, dass die Entladungszeit einer electriche Batterie, bei gleicher electriche Anhäufung, ebenfalls der Dichtigkeit der Ladung umgekehrt proportional ist; dass mithin das mit der zunehmenden Dichtigkeit der Ladung gesteigerte Erwärmungsvermögen nur Folge ist eines beschleunigten Durchgangs der Electricität. — Die Entladungszeit wächst dagegen in geradem Verhältnisse mit der Länge des auf vergleichbares Maass zurückgeführten Schliessungsbogens. Der Werth

$\frac{q}{S \left(1 + \frac{l \gamma}{n d^2} \right)} = \frac{1}{z}$ ist folglich nichts anderes als ein Ausdruck

für die Zeit z , während welcher eine gewisse als Einheit angenommene Electricitätsmenge entladen wird; oder vielmehr eine Zusammenstellung der Bedingungen, von welchen diese Zeit abhängig ist. Die Grösse des Wärmeeffectes in ein und demselben durch das Luftthermometer geführten Platindrahte lässt sich nunmehr auf die

folgenden einfachen Bedingungen zurückführen. Die Men frei werdenden Wärme nimmt zu, direkt wie die der sich entladenden Electricität und umgekeh die Entladungszeit; oder es ist

$$w = \beta T = \beta \cdot \frac{\alpha q}{z}.$$

418. Abhängigkeit der Erwärmung eines D von seiner Länge, seiner Dicke und von der seines Stoffes. Um die Erwärmungsfähigkeit zweier unabhängig von der Entladungszeit vergleichen zu könne nach dem Vorhergehenden nothwendig, beide gleichzeitig Schliessungsbogen zu bringen, dergestalt dass der Leitung stand desselben unverändert bleibt. Um z. B. den Einfl Länge zu erfahren, wurden nach einander mehrere Drä ungleicher Länge, aber sämmtlich von gleicher Dicke in d thermometer eingeschlossen; in den Kegelklemmen des A wurde jedesmal ein anderes Stück desselben Drahtes b von solcher Länge, dass es mit dem Drahte im Thermometer men 129,7 Linien maass. Der Durchmesser betrug 0,0792

Wenn nun die Electricitätsmenge, auf 4 Flaschen vertl einem Abstände beider Kugeln der Maassflasche von 1", j 7 Entladungen entsprach, wurden nach erfolgter Entlad Batterie nachstehende Anzeigen des Luftthermometers (Pogg. Ann. B. 53. S. 55):

Länge des Drahts im Luftth.	τ	berechnete Länge
123,7	16,2	123,7
96,7	12,3	94,0
67,7	9,1	69,5
42,0	5,6	42,8.

Die erzeugten Wärmemengen verhalten sich wie die Dra wie aus den nach dieser Annahme berechneten Längen zu hervorgeht. Die Wärmemenge der Längeneinheit und folgli die Temperatur, zu welcher die einzelnen Drähte durch Electricitätsmengen bei gleicher Entladungszeit erhoben blieb demnach bei allen Drähten gleich, oder erwies sic hängig von der Länge; ein Resultat, das sich mit Rücks die ganz gleiche Geschwindigkeit des electricischen Stroms i Querschnitte der Drähte im Voraus erwarten liess.

Um den Einfluss der Drahtdicke zu messen, werden Drähte von ungleicher Dicke gleichzeitig im Schliessung und zwar abwechselnd im Luftthermometer und im Ausla geschaltet. So wurden z. B. die folgenden Resultate ge (a. a. O. S. 58):

Länge, des Drahtes	Dicke	τ beobachtet	τ berechnet auf gleiche Längen
86,2	0,0792	12,5	15,3
105,4	0,1610	3,7	3,7.

Die Drahtdicken verhalten sich fast genau wie 1 : 2; die Wärmemengen für gleiche Längen beider Drähte wie 4 : 1; sie stehen also im umgekehrten Verhältnisse zu den Quadraten der Durchmesser, oder im einfachen umgekehrten Verhältnisse der Querschnittsflächen beider Drähte.

Da der Draht von vierfachem Querschnitte im Ganzen nur die Wärmemenge $\frac{1}{4}$ lieferte, so ist es einleuchtend, dass in diesem Drahte, in jeder Einheit des Querschnittes nur $\frac{1}{16}$ Wärme frei wurde; d. h. die Temperaturerhöhung in dem Drahte von doppelter Dicke konnte nur $\frac{1}{16}$ von derjenigen betragen, zu welcher der Draht von einfacher Dicke, unter übrigens ganz gleichen Umständen gelangt war. Die Temperaturen zu welchen gleichartige Metalldrähte von ungleicher Dicke durch gleiche Electricitätsmengen und bei gleicher Entladungszeit erhoben werden, verhalten sich also umgekehrt wie die vierten Potenzen ihrer Durchmesser und sind unabhängig von den Längen der Drähte. Die grössere Wärmeerzeugung in dem Drahte von halber Dicke hat darin ihren Grund, weil durch die Einheit seines Querschnittes eine viermal so grosse Electricitätsmenge in viermal kürzerer Zeit gehen muss, als durch die Einheit des Querschnittes im dickeren Drahte.

Drückt man die Temperaturerhöhung durch den Entladungsschlag in Graden des Quecksilberthermometers aus, so zeigt sie sich im ganzen Umfange der von Riess mitgetheilten Beobachtungen nur unbedeutend. Für Platindrähte lässt sie sich annähernd mittelst der Formel

$$T = \frac{\tau}{135,5} \left(\frac{4,537}{lr^2} + 1 \right)$$

berechnen, welche jedoch nur für ein Luftthermometer wie das von Riess, gebrauchte, dessen Kugel bei 15° C, und dem mittleren Barometerstande 0,5813 Grm. Luft enthält, Geltung hat. Z. B. für den Draht von 86,2 Lin. Länge und 0,0792 Durchmesser, für welchen also $r = 0,0396$, $\tau = 12,5$; findet man $T = 3^{\circ},19$ Cels. Die 10fache Electricitätsmenge bei derselben Dichtigkeit würde eine Temperaturerhöhung von 31°,9, bei doppelter Dichtigkeit, von 33°,8 hervorgebracht haben.

Bei ungleichartigen Drähten hängt die Wärmeerzeugung insbesondere noch von der Eigenthümlichkeit des Stoffes ab. Um diesen Einfluss kennen zu lernen, verglich Riess einen Platindraht

von 59^{mm},25 Länge und 0^{mm},08196 Durchmesser mit Drähten aus anderem Stoffe, z. B. mit einem Silberdraht von 110^{mm},08 Länge und 0^{mm},08072 Durchmesser, auf die schon vorher beschrieben, so dass abwechselnd Platin und Silber im Luftthermometer geschlossen wurde.

	τ	$\frac{l}{d^2}$
Platin	19,9	8820
Silber	4,2	16891.

Entfernung beider Kugeln der Maassflasche $\frac{1}{2}$ Linie; die auf 4 Flaschen vertheilt. (Pogg. Ann. B. 45. S. 11)
Die auf gleiche Dicke reducirten Längen beider Drähte verhalten sich wie 8820 : 16891 oder wie 1 : 1,915.

Der Platindraht, bei gleicher Dicke und gleicher Länge Silberdraht, würde eine der Zahl $19,9 \cdot 1,915 = 38,1$ proportionale Wärmemenge erzeugt haben. Die Wärmeentwicklung im Platin verhalten sich also wie $38,1 : 4,2$ oder wie 1 : 0,11 wie der Leitungswiderstand des Platins zum Leitungswiderstand des Silbers.

Auf ähnliche Weise findet man, dass auch in anderen Fällen das Quantum erzeugter freier Wärme dem eigentlichen Leitungswiderstande des Stoffs proportional ist.

Die im Schliessungsdraht einer Batterie durch die elektrische Entladung frei werdende Wärmemenge lässt sich daher durch die Formel bestimmen:

$$w = \beta \frac{\alpha q}{z} \cdot \frac{l \gamma}{d^2}$$

Die Menge der in einem beliebigen, durch die ganze Länge gleichartigen Theile des Schliessungsbogens entwickelten Wärme, steht im geraden Verhältnisse der sich entladenden Electricitätsmenge umgekehrten der Entladungszeit. Sie nimmt verhältnissmässig mit der Länge und dem eigentlichen Leitungswiderstande des Stoffs des Drahtes und vermindert sich verkehrt wie das Quadrat des Durchmessers.

$\frac{l \gamma}{d^2}$ ist das was man den reducirten Leitungswiderstand des Drahtes nennt. Man kann daher auch sagen: die Wärmeentwicklung im Umfange eines jeden einzelnen Drahtes, welche gleichzeitig aus den verschiedenen Theilen desselben Schliessungsbogens ausströmt, steht in geradem Verhältnisse zu dem Widerstande, welchen jeder einzeln einem electricischen Strom entgegensetzt.

419. Ungeachtet in der umfangreichen Arbeit, über welche in dem Vorhergehenden Rechenschaft gegeben ist, nur die Wärmewirkungen des Entladungsschlages der Batterie in Betracht genommen sind, so war doch zu vermuthen, dass die abgeleiteten Gesetze für electriche Ströme von jeder andern Quelle ganz gleiche Geltung haben müssten. Durch neuere Versuche von Lenz ist diese Folgerung eine experimentelle Bestätigung gefunden. (Pogg. Ann. B. 61. S. 18.)

Der Draht, dessen Erwärmungsvermögen studirt werden sollte, wurde durch ein Glasgefäss geleitet, welches nachher mit reinem Wasser oder mit Weingeist ganz angefüllt wurde, so dass alle Theile des Drahtes von der Flüssigkeit umgeben waren und folglich der ganze Wärmeeffect des ersteren von der letzteren aufgenommen werden musste. Alle übrigen Theile des Schliessungscircuitus waren so gewählt, dass sie durch den electriche Strom nicht bemerkbar erwärmt werden konnten. Ging nun ein Strom von bekannter und beständiger Stärke durch den Draht, so erwärmte sich die Flüssigkeit und ein darin eingetauchtes Thermometer zeigte die während einer abgemessenen Zeit erhaltene Temperaturerhöhung. Daraus liess sich dann die Temperaturerhöhung für die Einheit der Zeit berechnen, welche, wie leicht einzusehen, innerhalb derselben Zeit freigewordenen Wärmemenge proportional ist. Auf diesem Wege hat Lenz nachgewiesen, dass in Metalldrähten von verschiedner Länge und Dicke und verschiednem Stoffe, unter dem Einflusse gleichstarker galvanischer Ströme und in gleichen Entladungszeiten Wärmemengen frei werden, die in reducirten Leitungswiderständen dieser Drähte proportional sind; dass aber die Wärmeentwicklung in ein und demselben Drahte bei verschiedner Stromstärke sich verhält wie das Quadrat der Stromstärke. Es ist also ganz so wie es schon Riess im Fall einer electriche Anhäufung auf stets gleichbleibender Oberfläche gezeigt hatte:

$$w = a q^2 \frac{l \gamma}{d^3}$$

Da die durch einen constanten Strom bewirkte Wärmeentwicklung eine beliebige Zeit in unveränderter Stärke fortdauern kann, so steigt die Temperatur des Drahtes so lange, bis die in jedem Augenblicke gewonnene Wärme dem gleichzeitigen Verluste nach Massen gleich ist. Es sey πdl die Umfangsfläche eines Drahtes, der Wärmeverlust für die Flächeneinheit und 1° Temperaturerhöhung; t diejenige Temperaturerhebung des Drahtes über die Temperatur der Umgebung, wobei eine vollständige Ausgleichung statt findet, so ist $\pi dl \varepsilon t = a q^2 \frac{l \gamma}{d^3}$

$$\text{daher } t = \frac{a}{\pi \varepsilon} \cdot \frac{q^2 \gamma}{d^3}$$

Ein in der Luft ausgespannter Draht, der von einem constanten Strom durchlaufen wird, erreicht eine Temperaturhöhe, welche direkt dem eigenthümlichen Leitungswiderstande seines Stoffes und dem Quadrate der Stromstärke, aber umgekehrt der 3ten Potenz seines Durchmesserproportional ist. Länge des Drahts und Wärmecapacität seiner Masse sind ohne Einfluss auf die Stärke des Erglühens.

Die Drahtlänge ist ohne Einfluss hierauf, insofern man Mittel besitzt, die Stromstärke q constant zu erhalten. Da aber für einen gegebenen Electromotor mit der Länge des eingeschalteten Drahts auch der Widerstand zunimmt und folglich die Stromstärke sich mindert, so ist es einleuchtend, dass kurze Drähte bei gleicher Dicke leichter zum Glühen kommen als längere. Gesetzt man bedarf zwei constante Elemente um einen Platindraht von gewisser Länge und Dicke zum Glühen zu bringen, so wird man n mal 2 Paare anwenden müssen, wenn ein gleich dicker aber n mal so langer Draht zu derselben Temperatur erhoben werden soll. Dies ergibt sich nach dem Vorhergesagten als eine einfache Folge des Ohm'schen Gesetzes.

420. Durch die Erwärmung eines Leitungsdrahtes vermindert sich seine Leitfähigkeit. Gesetzt es befinde sich im Kreise einer electricischen Kette ausser dem Galvanometer und dem Regulatordraht noch ein dünnerer Draht eingeschlossen. Man umgebe den letzteren mit Eiswasser, damit seine Temperatur unter dem Einflusse der bewegten Electricität nicht bedeutend erhöht werden kann und regulire den Strom zu einer beliebigen Stärke. Wird die abkühlende Umgebung entfernt, so erhitzt sich der dünne Draht und es muss Regulatordraht abgewunden werden um die anfängliche Stromstärke wieder zu erhalten, um so mehr je stärker sich der eingeschaltete Leiter erhitzt.

Dieser Einfluss der Erwärmung erklärt die folgenden von H. Davy ersonnenen Versuche: Platindraht wird durch einen Strom von passend regulirter Stärke zum beginnenden Rothglühen gebracht; dann erhitzt man eine Stelle dieses Drahtes mittelst der Spiritusflamme bis zum Weissglühen, sogleich vermindert sich die Glühehitze des übrigen Theils und hört selbst ganz auf. Wird dagegen eine Stelle des rothglühenden Drahtes stark abgekühlt, so gelangt der übrige Theil zu einer gesteigerten Glühehitze.

Lenz hat die Leitfähigkeit mehrerer Metalle bei verschiedenen Temperaturen gemessen. (Zu vergleichen N. 460.) Das Hauptresultat seiner Arbeit ist in der folgenden Tabelle enthalten.

	Leitungsfähigkeit für Electricität bei		
	0°	100°	200°
Platin	136,25	94,45	68,72
Gold	100,00	73,00	54,82
Wismuth	79,79	65,20	54,49
Zinn	30,84	20,44	14,78
Quecksilber	29,33	24,78	21,45
Eisen	17,74	10,87	7,00
Kupfer	14,62	9,61	6,76
Antimon	14,16	10,93	9,02

Man sieht hieraus dass die Leitfähigkeit der Metalle durch Temperaturveränderung sehr bedeutend, aber bei verschiedenen Metallen sehr ungleich verändert wird. Nach derselben Methode, deren Prinzipien jedoch erst später erläutert werden können, sind die Bestimmungen bei 15° R gemacht worden. Leitungsfähigkeit des

- Kupfers = 100
- Antimons = 8,87
- Wismuths = 2,58
- Quecksilbers = 4,66.

1. Um die galvanischen Glüh-Phänomene in Vorlesungen zu zeigen, eignen sich Platin- und Eisendrähte, weil sie zu den besten Leitern gehören, vorzugsweise. Die gewählten Drahtstücke müssen mit den metallischen Enden der Batterie in möglichst leitende Verbindung gebracht werden, die man mittelst Schraubklemmen oder auch durch mehrmaliges Umwickeln und häufiges Reinigen an den Berührungstellen leicht erhalten kann. Lässt man mehrere Stücke von Platin- und Kupferdraht, von gleicher Dünne mit einander abwechseln, so erglühn die Platinstücke bei einer Stromstärke, wobei die Kupferstücke sich wohl erhitzen aber nicht zum Glühen kommen. Mittelst einer kräftigen Kohlenbatterie von wenigstens 20 — 30 Paaren Platin- und Eisendraht N. 6. auf 2 — 3 Fuss Länge fast momentan zum Glühen und zerfällt unmittelbar darauf in zahllose glänzende Stücke. Stahlfedern verbrennen mit Funkensprühen, ähnlich wie in Sauerstoffgase. Quecksilber beginnt im Augenblicke des Entstehens der Poldrähte mit lebhafter Flamme zu brennen. — Man verbindet die Enden der Poldrähte mit einem Stückchen Eisenpulver und Schiesspulver darauf streut, so entzündet sich Quecksilber im Augenblicke des Schliessens der Kette. Man hat die Zündmittel mit dem besten Erfolge benutzt um das Sprengen von Felsen, besonders unter Wasser, nicht nur zu erleichtern sondern auch weit gefahrloser zu machen. Die Leitungsfähigkeit des

drähte, dicke Kupferdrähte und nur durch ein kurzes Stückchen Eisendraht zusammenhängend, sonst überall aufs sorgfältigste (z. B. durch Umwickeln des einen Drahts mit Papier) getrennt erhalten, werden in das Bohrloch eingesetzt, man schüttet die erforderliche Menge Pulver zu und füllt den Rest des Loches mit Sand aus. Man kann den Draht auf diese Weise zugleich durch mehrere Ladungen führen, die dann, im Augenblicke da man die Kette schliesst, alle gleichzeitig abbrennen. Vier Kohlen-Zink-Paare sind zu diesem Gebrauche gewöhnlich hinreichend.

Die Hitze zwischen den Polen grösserer Batterien von 30 und mehr Paaren ist so gross, dass man in kleinen Tiegeln gebildet aus Coaks oder aus derselben Masse, woraus die Kohlencylinder verfertigt werden, die schwerflüssigsten Metalle in Mengen von mehreren Grammen sehr bald zum Schmelzen bringen kann.

Wenn der Strom einer solchen kräftigen Säule zwischen Kohlenspitzen übergeht, so entwickelt sich ein Lichtglanz der dem des Sonnenlichtes kaum nachsteht. Die Verbrennung der Kohle hat keinen Antheil an dieser Erscheinung, denn dieselbe findet im leeren Raume noch in verstärktem Grade statt. Die präparirte Kohle der Kohlencylinder eignet sich sehr gut zu diesem Versuche; Holzkohle stark ausgeglüht und dann in Wasser abgelöscht gibt aber nach de la Rive das schönste Licht.

Sind die Kohlenspitzen durch Berührung einmal zum Glühen gebracht, so lassen sie sich je nach der Stärke der Batterie von einigen Linien bis auf mehrere Zolle von einander entfernen, ohne dass die Fortdauer des Stroms unterbrochen wird. Dabei bemerkt man zwischen beiden Spitzen einen leuchtenden Bogen und ein Ueberführen glühender Theilchen vom positiven zum negativen Pole. Mit einer grossen Batterie von 2000 Paaren erhielt H. Davy in der Luft einen Lichtbogen von 4 Zoll, im leeren Raume von 7 Zoll Länge. Dieselbe Erscheinung nur in sehr verminderter Stärke zeigt sich auch zwischen Metallspitzen; auch hier scheint der Lichtbogen durch den Uebergang glühender materieller Theilchen gebildet zu seyn.

Es ist bestimmt nachgewiesen worden dass die dünnste messbare Luftschicht zwischen den Polen, selbst ziemlich grosser electrischer Säulen den Uebergang des Stroms vollkommen unterbricht, dass also die electrische Spannung an den Polen nicht gross genug ist, um das Ueberspringen eines Funkens durch die Luft möglich zu machen (Jakobi in Pogg. Ann. 44. 633). Der Schliessungs- und Trennungsfunke der galvanischen Kette kann folglich nur in einem durch den Uebergang des Stroms bewirkten Erglühen, zuweilen auch Verbrennen der äussersten Berührungspuncte bestehen, vollkommen ähnlich dem Erglühen eines feinen Drahtes, da die Enden einer galvanischen Kette verbindet.

Da der überschlagende Funke stark gespannter Electricität ebenfalls von einer bedeutenden Temperaturerhöhung begleitet ist (319), so haben einige Physiker die Meinung geltend zu machen esucht, dass das Leuchten während des Ueberspringens durch in Erglühen der Lufttheile bewirkt werde; andere halten für wahrscheinlicher, dass das electriche Licht durch glühende fortgeführte Theile des Leiters selbst, aus dem es hervorbricht, entstehe. Für die erstere Ansicht spricht der Umstand, dass die Färbung des electriche Lichtes in verschiedenartigen Gasen und Dämpfen nicht immer dieselbe bleibt und dass der Glanz desselben in verdichteter Luft zunimmt, in verdünnter sich vermindert.

Thermoelectricität.

422. Eine geschlossene Metallkette, z. B. ein Kupferdraht, dessen beide Enden durch einen Streifen Zink verbunden sind, gibt bekanntlich keinen electriche Strom, weil die erregenden Kräfte (wenn man so will: die electriche Gefälle) an beiden Berührungsstellen sich im Gleichgewichte halten. Die geringste Temperaturverschiedenheit stört jedoch dieses Gleichgewichtsverhältnis und bewirkt das Auftreten eines electriche Stroms.

Man setze die beiden Enden eines Multiplicatordrahts, ohne sie zu erwärmen, in Berührung mit einem Stücke irgend eines andern Metalls, und nachdem man sich von der Abwesenheit electriche Ströme überzeugt hat, erwärme man die eine Verbindungsstelle. Die Nadel wird bald aus ihrer Ruhelage abgelenkt werden und, je nach dem Grade ihrer Empfindlichkeit und der Stärke der Erwärmung einen mehr oder weniger grossen Bogen beschreiben; nach der rechten oder linken Seite, je nach dem die Temperatur der einen oder der andern Berührungsstelle erwärmt worden war. Man kann diesen Versuch beliebig oft wiederholen; der Erfolg bleibt immer gleich, und zwar ohne irgend eine früher oder später sichtbar werdende Mitwirkung chemischer Veränderungen. Diess stellt sich am deutlichsten dann heraus, wenn man beide Metalle zusammengelöthet hatte.

423. Zur Hervorbringung dieser Art der Berührungselectricität können die verschiedenartigsten Metall-Verbindungen gebraucht werden; Richtung und Stärke des entwickelten Stroms lassen sich jedoch nicht wie bei den galvanischen Ketten aus der chemischen Natur der verbundenen Leiter vorhersagen.

Man bringe eine Antimonstange zwischen beide Enden des Multiplicator-Kupferdrahts und erwärme die eine Berührungsstelle. Der hierdurch erzeugte Strom bewegt sich von dieser Stelle aus durch das Antimon zu der nicht erwärmten Berührungsstelle und kehrt durch den Kupferdraht zu seinem Ursprunge zurück. Vertauscht man das Antimon mit Wismuth, so findet das

Umgekehrte statt, d. h. der Strom geht jetzt von der erwärmten Stelle durch den Kupferdraht zu der nicht erwärmten. Wenn der Multiplicatordraht durch ein Antimon-Wismuth-Paar geschaltet so dass drei Uebergangspuncte entstehen nämlich: Kupfer-Antimon, Antimon-Wismuth und Wismuth-Kupfer, und erwärmt immer nur eine derselben, während die beiden andern kalt bleiben, so geht der Strom von der erwärmten Stelle im ersten Fall zunächst in die Antimonstange, im zweiten ebenfalls in die Antimonstange, also in einer der vorhergehenden entgegengesetzten Richtung, im dritten nach derselben Richtung wie im ersten nämlich von der erwärmten Stelle in den Kupferdraht.

Die erregenden Kräfte in der ersten und dritten Berührung unterstützen sich hiernach, wenn beide Puncte zugleich erwärmt werden. Da nun durch gleichzeitige und gleichstarke Temperaturerhöhung sämtlicher Uebergangspuncte gar kein Strom entsteht, so muss man schliessen, dass die erregende Kraft an dem zweiten Puncte gleich ist der Summe der erregenden Kräfte an dem ersten und dritten. Hatte man dafür gesorgt, die Temperatur-Unterschiede in diesen Versuchen stets gleich zu erhalten; war z. B. je ein Punct die Verbindungsstelle der Temperatur des siedenden Wassers ausgesetzt, während man die beiden andern mit schmelzendem Eisen erwärmt, so erweist sich in der That die Summe der Stromstärken, durch Erwärmung der Berührungsstelle Kupfer-Antimon und Wismuth-Kupfer erhalten wird, gleich der Stärke des durch Erwärmung der Stelle Antimon-Wismuth erzeugten Stroms.

Irgend zwei andere Metalle statt Antimon und Wismuth mit dem Multiplicatordraht verbunden zeigen im Allgemeinen ein ähnliches Verhalten, d. h. man wird immer finden, dass die durch die Temperaturverschiedenheit bewirkte electriche Erregung an jeder Berührungsstelle, gleich ist der Summe der unter denselben Umständen an den beiden andern Stellen eintretenden Erregungen.

Wird die geschlossene Kette des Multiplicatordrahts aus einer grösseren Zahl Metalle in willkürlicher Folge zusammengesetzt, z. B. Kupfer, Antimon, Wismuth, Zinn, Eisen, Silber u. s. w., so ändert sich, je nach der Wahl der Verbindungsstelle die Richtung, Richtung und Stärke des Stroms, immer jedoch in demselben durch eine bestimmte Temperaturverschiedenheit herbeigeführt, gleich dem Uebergewicht einer Berührungsstelle gleich der algebraischen Summe der durch dieselbe Temperaturerhöhung bewirkten Erregungen aller übrigen Stellen.

Wenn man Stäbe von den folgenden Metallen: Wismuth, Zinn, Blei, Messing, Gold, Kupfer, Silber, Zink, Eisen, Antimon, in der Ordnung, wie sie hier nach einander gesetzt an einander löthet, so gehen die durch Erwärmung der Lötstellen erzeugten Ströme sämtlich nach gleicher Richtung, nämlich von der Richtung vom Wismuth abwärts zum Antimon. Die

ge Erwärmung aller zwischen Wismuth und Antimon Uebergangspuncte erhaltene Stromstärke ist folglich die gleiche mit Hülfe der genannten Metalle überhaupt erreicht. Sie ist gleich und entgegengesetzt der durch Erwärmen der Verbindungsstelle Antimon - Wismuth (während andern kalt bleiben) gebildeten Stromstärke.

Antimon und Wismuth bilden also die Endpuncte einer Reihe, von mehreren thermoelectrischen Reihe, welche das Eigenenthum hat, dass ein beliebiges Glied derselben, wenn sein Endpunct mit einem der folgenden Glieder erwärmt wird, thermoelectrischen Strom von der erwärmten Stelle zu diesem folgenden Metalle sendet. Die Stellung der verschiedenen Metalle in der thermoelectrischen Kette ist bei weitem noch nicht mit genügender Vollständigkeit ermittelt. Der Grund liegt wohl darin, weil man ein Metall in der Reihe behauptet, durch fremde Metalle ungleich, und oft sehr bedeutend verändert wird. Die Metalle, in der Masse eines Metalls ungleich vertheilt, sind wahrscheinlich auch die Ursache, warum manche anscheinend gleichartige Metallstäbe, an gewissen Stellen erwärmt, thermoelectrische Ströme hervorbringen.

Antimon - Wismuth - Kette die kräftigsten thermoelectrischen Erregungen zulässt, so werden diese beiden Metalle zur thermoelectrischer Ketten vorzugsweise verwendet. Beide sind schlechte Leiter; die gewählten Stäbe müssen desswegen dünn und dick seyn. Wenn man an beiden Enden eines Stabs von Antimon oder Wismuth, von 6 Zoll Länge und 4—6 Linien

Dicke, einen dicken, in Form eines Rechtecks gebogenen Kupferdraht einschmilzt, und die eine Löthstelle mit der Spiritusflamme erhitzt, so wirkt der hierdurch erzeugte Strom unmittelbar auf eine in der Mitte des Rechtecks schwebende Magnetnadel.

Die Triebkraft der thermoelectrischen, am besten der Antimon - Wismuth - Kette lässt sich bedeutend vergrössern, wenn man abwechselnd von dem einen und andern Metalle auf einander lässt, so geordnet, dass alle geraden Löthstellen nach einer Seite, alle ungeraden nach der andern gekehrt sind. Eine solche Vorrichtung (Fig. 170) wird thermoelectrische Säule genannt. Es ist einleuchtend, dass durch Erwärmung der einen Seite derselben, z. B. aller geraden Löthstellen, die hierdurch entstehenden erregenden Kräfte einander unterstützen.

Setzt man die Endpuncte der Säule mit dem Multiplicator erwärmt zuerst nur eine einzige Verbindungsstelle, z. B.



die zweite, während alle übrigen einer beständigen niederen Temperatur ausgesetzt bleiben, dann die zweite und vierte gleich dann drei ähnlich liegende zugleich u. s. w., so ergibt sich die entsprechenden Stromstärken sich verhalten wie die der erwärmten Löthstellen. In allen Fällen erhält man Strom unveränderlicher Stärke, so lange die Temperaturunter unverändert erhalten werden.

Wegen dieser Beständigkeit der thermoelectrischen Ströme und der Genauigkeit, sie erforderlichen Falls genau von derselben Stärke immer erhalten, eignen sie sich vorzugsweise zum Studium des Ohm'schen Gesetzes. In der That ist dasselbe vom Dr. Ohm zuerst mit Hilfe der thermoelectrischen Ströme nachgewiesen worden und man hat einige Zeit geglaubt, dass man nur für solche Ströme Geltung hätte, bis die Möglichkeit, beständig auch durch Galvanismus zu erzielen, jeden Zweifel in dieser Hinsicht beseitigte.

Die thermoelectrische Kette und ihre Wirkungen auf die Magnete sind von Dr. T. J. Seebeck im Jahre 1822 entdeckt worden.

425. Die bewegende Kraft der thermoelectrischen Ketten ist im Vergleich mit derjenigen einer gewöhnlichen Volta'schen Säule ganz ausserordentlich gering; Bewegungshindernisse, Leitungs- und Widerstände, welche bei der letzteren kaum oder gar nicht bemerkbar sind, können daher bei den ersteren nicht mehr vernachlässigt werden. Alle Uebergangsstellen müssen durch sorgfältige innige Berührung rein metallischer Flächen, am besten durch Zusammenlöthen bewerkstelligt, alle Verbindungsdrähte (Kupfer- und Silberdrähte), welche vorzugsweise zum Messen der thermoelectrischen Ströme dienen sollen, erhalten gewöhnlich bei einer Länge von 150 bis höchstens 200 Umwindungen eine Dicke von ungefähr 1 Millimetre. Multiplicatoren aus sehr langen und dünnen Drähten gefertigt, die sich durch ihre grosse Empfindlichkeit für die geringsten Spuren galvanischer Einwirkungen auszeichnen, sind als Anzeiger thermoelectrischer Ströme fast unbrauchbar.

Wenn es sich darum handelt, eine möglichst grosse Einwirkung auf die Nadel zu erreichen, erfordert eigentlich jede besondere thermoelectrische Kette auch eine besondere Beschaffenheit des Multiplicatordrahts; denn Stoff und Gewicht der Drahtmasse einflussreich, lehrt das Ohm'sche Gesetz, dass ein Maximum der Einwirkung erhalten wird, wenn der Leitungswiderstand aller Multiplicatorwindungen zusammengenommen eben so viel beträgt, als derjenige der electrischen Kette mit Einschluss ihrer Verbindungsdrähte*). Im Inneren einer Thermo-Kette, bei welcher g

*) Es sey R der reducirte Leitungswiderstand sämmtlicher Theile der geschlossenen Kette, mit Ausnahme des Multiplicatordrahts; n die Anzahl der Windungen, nl die ganze Länge des letzteren; f der Querschnitt des Drahtes, K die Triebkraft des Stroms, so lässt sich die Grösse der ablenkenden Kraft des Multiplicators darstellen durch

$$Q = \frac{nK}{R + \frac{nlw}{f}}$$

Metallverbindungen vorkommen, kann der Leitungswiderstand sehr gross seyn und wird deshalb von dem des Muldrahts, wenn dieser nicht kurz und dick ist, leicht an. Dagegen galvanische Ketten von geringer Wirksamkeit, eine Zink-Kupferkette mit Wasser, äussern gewöhnlich in ihrem eignen Umfange einen so grossen Leitungswiderstand, dass vergleichungsweise der eines, wenn auch dünnen Drahts kaum in Betracht kommt. Die Multiplicatordrähte sind also in diesem Falle sehr lang und von sehr geringem Querschnitt, so dass sie eben so viel Widerstand wie die Kette bewirken.

Die thermoelectrischen Ströme, ungeachtet der geringen ihrer Triebkraft, sind fähig auch flüssige Leiter zu durchdringen, wovon man sich leicht überzeugt, wenn man neben der Kette einen recht empfindlichen Multiplicator in die Kette einsetzt. Eine Auflösung von Kupfervitriol in welche Kupfer eingetaucht sind, oder Zinkvitriol mit eingesenkten Zinkgestatten selbst dem wenig intensiven durch Einwirkung einer Flamme auf eine Säule von 30 — 40 Antimon-Wismuth-irregten Strom mehrere Stunden hindurch einen unveränderten Verlauf nehmen. Die dabei eintretende Zersetzung geht indessen, obgleich unverkennbar, doch nur sehr langsam vor sich. Es ist schon einleuchtend, dass verdünnte Schwefelsäure, als der Leiter, noch leichter von dem Thermo-Strome durchdrungen wird, und diess zeigt auch die Erfahrung. Wegen der Polarität der Platinstreifen erfolgt jedoch eine rasche Verminderung der Stromstärke, wodurch der direkte Nachweis der Wasserzersetzung erschwert wird. Schwefelsäure ist daher nicht die geeignete Flüssigkeit um als Beweismittel zu dienen, dass dem thermoelectrischen Strom die Fähigkeit, chemische Zersetzungen zu bewirken, nicht fehlt.

Man kann auch den Muskel und Nerv eines präparirten Froschschenkels durch Drahten desselben Metalls berührt, und die direkte Verbindung der beiden andern Drahtenden keine Bewegung des Muskels mehr hervorbringt, so kann derselbe durch Ein-

setzen des Gewicht der Drahtmasse: $G = n l f \gamma$; (γ bezeichnet ihre Dichtigkeit) daher $f = \frac{G}{n l \gamma}$. Wird dieser Ausdruck von f in die vorhergehende Formel substituirt, so erhält man:

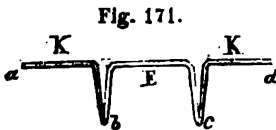
$$Q = \frac{n K}{R + \frac{n^2 l^2 \omega \gamma}{G}} = \frac{K G}{l^2 \omega \gamma} \times \frac{n}{\frac{R G}{l^2 \omega \gamma} + n^2}$$

man sieht leicht, dass Q ein Maximum wird für $n^2 = \frac{R G}{l^2 \omega \gamma}$, d. h. wenn der Draht so gewählt wird, dass sein Widerstand dem des übrigen Drahtes der Kette gleichkommt.

führung eines thermoelectrischen Stroms noch in starkes Zucken gerathen. Nach Nobili entsteht ein solches Zucken selbst schon, wenn man das freie Ende des einen der mit Muskel Nerv verbundenen Drähte erhitzt und mit dem andern nicht hitzen in Berührung setzt.

Weit schwieriger ist es, Spannungswirkungen der thermoelectrischen Säule zu erkennen, denn sie sind so gering, dass durch den Condensator verstärkt, selbst auf das feinste Goldh electrometer keinen Eindruck hervorbringen. Mit Hilfe eines empfindlichen Bohnenberger'schen Electroscoops ist jedoch dem Condensator ertheilte Ladung deutlich wahrnehmbar, wenn man dazu eine Säule von 32 Antimon-Wismuth-Paaren gew und die eine Hälfte der Löthstellen mit siedendem Wasser erhitze die andere stark abgekühlt hatte. Ungeachtet dieser äußerst schwachen Spannung ist es durch besondere Vorkehrungen, mit der Thermo-Säule electrische Funken zu erhalten (Pogg. Ann. B. 41. S. 160.)

427. Man macht von den thermoelectrischen Strömen höchst wichtige Anwendung zur Entdeckung und Messung feinsten



Temperaturunterschiede. Ein dicker I oder Streifen, so wie Fig. 171 zeigt, wird aus drei Stücken, z. B. Eisen- und Kupferdraht an den beiden Enden *b* und *c* mit Kupferdraht in Berührung steht zusammengesetzt, werde mit den Multiplicatorwindungen eines zur Prüfung thermoelectrischer Ströme zweckmässig ausgeführten Galvanometers mit astatischer Doppelnadel verbunden. Man umgebe die eine Lötstelle z. B. *b* mit schmelzendem Eisen, die andere mit reinem Wasser von folgender höherer Temperatur. Die Nadel wird bei jeder Aenderung der Temperaturunterschiedes eine andere feste Stellung einnehmen und die ihren Ablenkungen entsprechenden Stromstärken weit sich verhalten wie die Temperaturunterschiede selbst; so wenigstens als man die Gränze von 50° nicht überschreitet (Becquerel). Für geringere Intervalle von höchstens 5–6 Grad findet man, von der absoluten Temperaturhöhe sogar ganz unabhängig, eine genaue Proportionalität zwischen den Temperaturunterschieden und den dadurch erzielten Stromstärken. (Mellin Pogg. Ann. B. 38. S. 16.)

Die beschriebene Vorrichtung ist also ein wirkliches Differentialthermometer, dessen Angaben aus den Ablenkungen der Magnetenadel erkannt werden.

Hat man zu der Thermokette *abEcd* dicke Drähte von geringer Länge gewählt, so bedarf auch der Multiplicator nur wenige Windungen eines dicken Kupferdrahts. Ist zudem die Doppelnadel fast astatisch und nur an einem wenigstens 5–6

Coconfaden aufgehängt, so gewinnt man ein Differenzialcop von überraschender Empfindlichkeit. In der That ist es dahin zu kommen, dass eine Temperaturdifferenz beider Enden von nur einem Grade die Nadel um 20 und mehr Grade

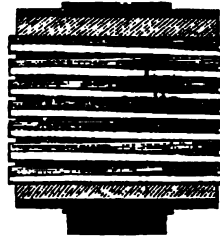
gelingt es nicht, die Nadel befriedigend astatich zu machen. Man thut dann wohl, einen kräftigen geraden Magnetstab in die Richtung des magnetischen Meridians und in passender Entfernung von dem Galvanometer so aufzustellen, dass die Wirkung des Erdmagnetismus, so weit es erforderlich scheint, entzogen wird.

Die Anwendung der Thermo-Säule anstatt eines einzigen Elements lässt sich die Empfindlichkeit noch weit höher treiben. Die Fig. 172 gibt eine Ansicht, die Fig. 173 einen Längendurch-

Fig. 172.



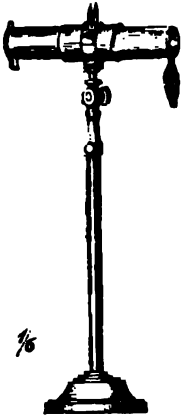
Fig. 173.



in natürlicher Grösse einer vorzugsweise zu diesem bestimmten Säule. Sie besteht aus 35 Paaren Antimonmuthstäben von prismatischer Form, abwechselnd unter rechten Winkeln an einander gelöthet, so dass sie einander an den Lötungsstellen berühren, und in mehreren parallelen Reihen geordnet, die an den benachbarten Enden zusammenhängend eine einzige Metallkette bilden. Hierdurch erhält das Ganze die Form eines prismatischen Stabs mit ebenen Endflächen von 2,5 Centimetre. Die eine dieser Endflächen enthält alle die geraden, die andere alle ungeraden Lötstellen. Die einzelnen Stäbe haben eine Länge von 32 Millimetre bei 2,5 mm Breite

und 1 mm Dicke. Um sie in der beschriebenen Lage dauernd zusammenzuhalten, sind sie in einen Ring von Messing eingeschoben und mit Kork darin befestigt. Ein gegen die Richtung der

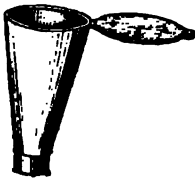
Fig. 174.



Stäbe senkrechter und mit einem Gelenke versehener Stiel (Fig. 174) an diesem Ringe wird in einen aufrecht stehenden Träger eingelassen und kann darin mittelst einer Schraube in verschiedenen Höhen festgestellt werden. Diese Anordnung macht es möglich, die Säule in jeder beliebigen Richtung zu bringen und dadurch die eine ihre Flächen dem Einflusse einer Wärmequelle so gegenüberzustellen, dass die andere davon nicht getroffen werden kann. An der oberen Seite des Ringes befinden sich zwei etwas konisch zulaufende Stifte, welche die Ausgänge der Säule bilden. Sie werden mit den Enden des Multiplicatordrahts verbunden, so dass man das Instrument in Thätigkeit setzen will. Die Einrichtung dieser Thermosäule ist hauptsächlich darauf berechnet, die Einwirkungen der

aus mehr oder weniger entfernt liegenden Quellen ausgehenden parallelen Wärmestrahlen zu messen. Um nun im Laufe eines Versuchs alle seitwärts und zufällig zuströmende Wärme abhalten zu können, ist an jeder Seite des Ringes ein 6 Centimetre langes, mit einem Deckel versehenes und inwendig geschwärztes Rohr angebracht. Beabsichtigt man dagegen die von irgend einem wärmeren Gegenstande ausgehenden Strahlen auf der einen Fläche

Fig. 175.



der Säule in möglichst grosser Menge aufzufangen, so vertauscht man das eine cylindrische Rohr mit einem kegelförmigen Reflector von polirtem Messing (Fig. 175), von 12—15 Centimetre Länge und 20° — 25° Steigung der Seiten.

Richtet man diesen Reflector in einem Abstände von 20 und mehr Fussen gegen einen warmen Ofen, oder hält man in einiger Entfernung die Hand vor denselben, so gibt sich die dadurch bewirkte Erwärmung der einen Fläche der Säule sogleich durch einen starken Ausschlag der Nadel zu erkennen. Die verschiedenen Wände eines Zimmers besitzen gewöhnlich nicht ganz gleiche Temperatur, dreht man nun den Reflector gegen die eine oder andere Wand, so wird man fast immer eine Ablenkung wahrnehmen, bald eine Erhöhung, bald eine Erniedrigung der Temperatur unter die mittlere der Säule anzeigend.

Durch die Verbindung des Multiplicators mit der Thermo-Säule, beide in den richtigen Verhältnissen ausgeführt, ist es, wie man sieht, gelungen ein Differenzialthermometer von ganz ausserordentlich

grosser Empfindlichkeit darzustellen. Nobili, der den denselben zuerst eingeführt hat, hat ihm den Namen Multiplikator gegeben. Eine Vergleichung seiner Genauigkeit mit der des Leslie'schen Differenzialthermoscops, nur zum Vortheile des ersteren ausgeht und aus der es deutlich wird, dass die empfindlichsten Thermo-Multiplikatoren $\frac{1}{6000}$ eines Reaumür'schen Grades anzeigen, findet sich in *Ann. B. 27. S. 455.*

Der thermoelectrische Strom theilt mit der bewegten aus jeder andern Quelle die Eigenschaft, die Leiter durchdringt zu erwärmen. Die Wärmeentbindung ist in den meisten Fällen zu gering, um deutlich wahrzunehmen, weil die Thermostrome wegen der geringen Stärke nur von dicken Drähten in bedeutender Menge ausgesendet werden. Sie lässt sich gleichwohl nachweisen, wenn der Strom durch ein Luftthermometer führt, in welchem ein Platindraht ausgespannt ist, oder auch indem man die Kette irgend einen andern dünnen der Kette eingeschalteten einen Fläche einer recht wirksamen Thermo-Säule so möglich bringt. Die Richtung, in welcher der Strom Draht geht, hat keinen Einfluss auf den Grad seiner

3.
Nobili hat die merkwürdige Beobachtung gemacht, dass die Lötstelle zweier ungleichartiger Metallstücke je nach der Richtung des Stroms eine ungleiche Temperatur annimmt. Diese Erscheinung zeigt sich übrigens nicht nur unter dem Einflusse des thermoelectrischen, sondern überhaupt aller electricischer Ströme, in dem Verhältnissmässig zum Querschnitte der Leiter keine Ausnahme haben, weil die immer statt findende Erwärmung an der Lötstelle begränzenden Theile beider Metalle unter dem Einflusse starker Ströme eine so beträchtliche Höhe erreicht, dass es ein eigenthümliche Verhalten der Lötstelle selbst leicht zu beobachten wird. Man bemerkt dieses Verhalten in sehr auffallendem Grade an den Lötstellen einer Thermo-Säule aus Antimon- und Zinn, deren Ausgangspuncte man zuvor mit dem Multiplikator verbunden hatte, bis völliges Gleichgewicht der Erregung eingetreten war. Wird nämlich irgend ein schwacher Strom durch den Multiplikator geleitet, dann unter Abschluss der Stromquelle die Verbindung des Multiplikators wieder hergestellt, so findet jetzt eine Ablenkung der Nadel statt, rechts oder links, je nach der Richtung in welcher der electricische Strom durch die Säule geführt wird.

Um die Beschaffenheit der hierbei auftretenden Temperaturveränderungen näher zu prüfen, stelle man zwei Thermo-Säulen einander gegenüber, dass ihre zugewendeten Lötstellen fast

in Berührung kommen. Die eine (*a*) verbinde man soda dem Multiplikator, durch die andere (*b*) leite man den Strom Daniell'schen Zink - Kupferpaars. Die Nadel des Galvanometers wird sich sogleich in Bewegung setzen, und zwar im Sinne der Erwärmung der, einander zugewendeten Flächen beider Elemente, so oft der Strom durch die betreffenden Löthstellen Säule (*b*) in der Richtung vom Antimon zum Wismuth sein nimmt, dagegen im Sinne einer Temperaturerniedrigung, in der Richtung des Stroms die umgekehrte ist. Die im letztere eintretende Abkühlung ist übrigens so beträchtlich, dass der Thermo-Multiplikator bedarf um sie wahrzunehmen man das cylindrische Behälter eines gewöhnlichen Quecksilberthermometers auf die durch die Löthstellen gebildete Fläche sinkt der Quecksilberfaden ungeachtet die Wärmemittheilung diesen Umständen nur sehr unvollkommen seyn kann, um halben bis zu einem ganzen Grade.

Es leuchtet hieraus ein, dass der durch eine thermoelektrische Kette gehende Strom abwechselnd die eine Löthstelle erwärmt und die andere abkühlt und zwar in der Weise, dass dadurch die erregende Kraft im entgegengesetzten Sinne der ursprünglichen hervorgebracht wird.

Peltier entdeckte ein derartiges Verhalten ganz allgemein an den Berührungsstellen von je zweien ungleichartigen Metallen. Immer nämlich zeigte sich der Grad der Erwärmung einer Stelle nicht bloss von der Stärke, sondern auch von der Richtung des Stroms abhängig. Jedoch nicht bei allen Verbindungen gelang es je nach der Stromrichtung abwechselnd Wärme oder Kälte zu erzeugen.

(Ann. de Ch. et de Ph. 56. auch Dove Repertor. I. S. 117.)

Durch das eigenthümliche Verhalten der Löthstelle zweier Metalle leitete Lenz zu dem folgenden bemerkenswerthen Versuche geleitet: Zwei vier Zoll lange Stangen von Wismuth und Antimon von 0,4 Zoll Seite wurden an einander gelöthet, und an der Löthstelle selbst ein Loch eingeboren wurde, mit Ausnahme der Löthstelle mit schmelzendem Schnee und das Loch mit Wasser gefüllt. Letzteres so wie die Stange selbst dadurch bald die Temperatur von 0°. Als hierauf ein electricischer Strom durch die Stange von W. nach A. durchlief, gefror das Wasser nach 5 Minuten voll dabei sank die Temperatur desselben auf $-3^{\circ},5$.

428. b. Pyro-Electricität (Wärme-Electricität kryscopischer Körper). Gewisse krystallinische Körper besitzen die Eigenschaft, durch Temperaturveränderung electricisch zu werden. Dieses Verhalten darf jedoch mit den vorher betrachteten thermoelektrischen Erscheinungen, womit es, wenn man von der äusseren Veranlassung seines Auftretens absieht, nichts gemein zu scheinen scheint, nicht verwechselt werden.

Man nennt einen Krystall pyroelectricisch, wenn er bei einer Aenderung seiner Temperatur die beiden Electricitäten

ten Stellen hervortreten lässt. Je zwei solcher entgegengesetzter Stellen werden Pole genannt, und eine Linie, welche zwei Pole verbindet, electriche Axe des Krystalls. An jeder dieser beiden Pole einer Axe treten nach einander beide Kräfte auf, indem nämlich ein Pol, der während der Erwärmung eine Electricitätsart zeigt, bei der Abkühlung die entgegengesetzte frei werden lässt. Wird die Temperatur desselben Krystals, gleichgültig bei welcher Höhe, beständig erhalten, so wird er unelectriche. Man kennt jetzt eine ziemlich beträchtliche Anzahl von Krystallen, jedoch wie es scheint nur unsymmetrisch gebildete Krystalle, welche das Vermögen besitzen pyroelectriche zu werden. Nennen wir theils natürlich vorkommende, wie Turmalin, dessen pyroelectriche Verhalten schon in früherer Zeit bekannt war, Kieselsäure, Axinit, Titanit, Schwerspath, Bergkrystall, Borazit, Rhodizit u. a. m.; theils sind sie künstlich, wie Zucker, Weinsäure, neutrales weinsaures Ammonium, gewöhnlich besitzen sie nur eine electriche Axe; einige Azit und Rhodizit besitzen deren auch mehrere.

Die Grade der Electricität finden sich besonders bei hell gefärbten und durchsichtigen Turmalinkrystallen, welche im Inneren rein und nicht klüftig sind. Die electriche Axe des Turmalins fällt mit der krystallographischen Axenschnittlinie des Prismas zusammen. Ihre electriche Polarität lässt sich durch die ungleiche Einwirkung beider Endpunkte auf das Electroskop (am Ende des Bohnerberger'schen) leicht erkennen, wenn der zuvor gleich erwärmte Krystall in der Mitte mit einer Zange gefasst und dann das andere Ende an den Stifft des Electroscoops gelegt wird. Zerstückelt man ein polarisirtes Turmalin, so zeigt, während noch die Temperatur sinken begriffen ist, jedes einzelne Stück dieselbe Polarität, und zwar umgekehrt mit verhältnissmässig stärkerer Intensität, als der ganze Krystall. Wenn durch Zerstoßen des Krystalls gebildete Pulver wird electriche, so sinkt seine Temperatur steigt oder sinkt; so dass man vermuthen muss, dass die kleinsten Krystalltheilchen die Fähigkeit besitzen polarisirt zu werden. Aepinus hat zuerst das pyroelectriche Verhalten des Turmalins entdeckt. Die neuesten Untersuchungen über diesen Gegenstand verdankt man Becquerel (Pogg. Ann. 13. 628), Köhler (P. A. 17. 150), G. Rose (P. A. 285), Hanckel (P. A. 49; 50; 53; 56 u. 61), G. Rose u. P. Riess (P. A. 351; 61. 659).

Electromagnetismus.

1. Von den Wirkungen electricher Ströme auf die Magnete ist früher nur so weit die Rede gewesen, als nöthig war um den Gebrauch der hierauf gegründeten Messinstrumente verstehen zu können. Bekannt mit den erforderlichen Hilfsmitteln um Ströme von unvollkommener Beständigkeit, so wie von beliebiger Stärke hervorzubringen, wollen wir jetzt die electromagnetischen Wirkungen und ihre Gesetze mit grösserer Ausführlichkeit behandeln.

Um zuerst die Richtung der magnetischen Kraft unmittelbar und unabhängig von jedem fremden Einfluß zu lernen, nehmen wir eine astatische, z. B. die Scastatische Magnetnadel und führen einen geradlinig

Fig. 176.



draht durch welchen der gleichlaufend mit ihrer Schwingungsebene. Es bezeichne ab (Fig. 176) die Stellung des Drahts gegen den Mittelpunkt o schwingende Ebene. Ein Pfeil zeigt die Richtung des Stroms an. Der Winkel wird sich nach einigem Umdrehen winkelrecht gegen die Strahlen; der Nordpol zur Linken ihres Stützpunktes, je nachdem der Strom über oder unter der Schwingungsebene läuft. Nur in einem einzigen Falle, nämlich der Draht in die Schwingungsebene selbst zu liegen bleibt die Nadel astatisch; d. h. die Wirkung des Stroms ist Null, während in den beiden zuerst betrachteten Fällen entgegengesetzte Wirkungen eintreten.

Dieses Verhalten lässt keine andere Erklärung zu, die, dass die bewegte Electricität in der Richtung ihrer Bewegung selbst keine magnetische Kraft ausstrahlt, vielmehr die Richtung ihrer Wirksamkeit gegen den beliebigen Magnetpol, auf der durch diesen Strom gebildeten Ebene rechtwinklig ist. Der Nordpol ist, links von der Ebene getrieben, der Südpol rechts, wenn es ein Südpol ist *).

Wir wollen die durch einen Magnetpol und durch eine Stromlinie, ihrer Lage nach festbestimmte Ebene, die Ebene des geradlinigten Stroms bezogen auf diese

430. Wenn die Pole einer Magnetnadel aus der Schwingungsebene nicht heraustreten sollen, so kann man sie, welche gegen die Wirkungsebene des Stroms senkrecht gewöhnlich nicht zur vollen Wirksamkeit gelangt, im Allgemeinen aus zwei Theilen zusammensetzen

Fig. 177.



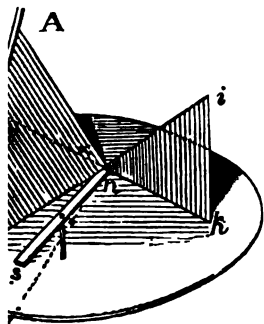
der eine, winkelrecht gegen die Wirkungsebene der Nadel gegen die Wirkung, und nur der andere, wenn er mit dieser Ebene kommt. Es sey m (Fig. 177) der Mittelpunkt einer Linie in seiner Schwingungsebene, welcher die Ebene acn

*) Die Bezeichnungen rechts und links beziehen sich auf die früher (N. 366) hervorgehobene Vorstellungsweise.

et der Stromlinie, welche letztere die Ebene acm windschneidet, das Stromelement in c wird hierdurch der Ebene parallel gesetzt; $im = I$ bezeichne die magnetischen Stroms, endlich $\alpha = cma$ den durch die Wirkungsebene und die Schwingungsebene gebildeten Winkel. Die Kraft im zerfällt in die Kräfte $mK = I \sin \alpha$ und $iK = I \cos \alpha$; von denen nur die mK den Pol beschleunigt, so lange bis die magnetische Achse der Nadel zu gehört sich gleichlaufend mit der Linie am stellt. Beide Werthe können übrigens je nach der Grösse α und seiner Lage über oder unter der Schwingungsebene positiv, negativ und Null werden. — Die Aenderungen in der Richtung und Grösse der magnetischen Wirksamkeit eines Stroms auf eine Magnetnadel, mit deren Schwingungsebene parallel geführt ist, lassen sich hiernach für jede Aenderungsseitigen Stellung bestimmt und im Voraus (zu vergl. 366).

Ein geradliniger Strom die Schwingungsebene der Nadel durchschneidet, so steht auch die durch seine Richtung einen oder andern Pol gelegte Ebene rechtwinklig zur Schwingungsebene. Die ganze Stromkraft fällt daher in die Schwingungsebene und treibt die Nadel eine solche Stellung zu geben, dass die magnetische Achse eine durch ihren Mittelpunkt und die Stromlinie rechtwinklig durchschneidet, weil diess die einzige Stellung ist, in welcher die gegen beide Pole gerichteten Kräfte von einander abheben und in ihren Wirkungen entgegengesetzt sind.

Fig. 178.



Bildet der Kupferdraht AB durch welchen der Strom geht mit der Schwingungsebene snd einen beliebigen Winkel, so kann Richtung und Grösse des wirksamen Theils der gegen einen Magnetpol n gerichteten Stromkraft auf folgende Weise ermittelt werden: Man erhebe von dem Punkte n der Ebene ABn , deren Lage durch die Stromlinie und den Magnetpol n fest bestimmt ist, die Senkrechte ni ; sie bezeichnet die Richtung der ganzen Stromkraft. Man falle auf die Schwingungsebene das Loth ik , und setze $in = I$; so findet man die gesuchte Seitenkraft $kn = I \cos ink$; deren Richtung dadurch bestimmt ist,

dass kn auf dn , der Durchschnittslinie der beiden Ebenen snk und ABn winkelrecht stehen muss. Man verlängere kn nach a hin und ziehe auf der Ebene ABn die Linie na winkelrecht gegen dn , so ist $anA = \alpha$ der Neigungswinkel der beiden Ebenen snk und ABn . Es ist aber α die Ergänzung des Winkels ink zu 90° , daher $I \cos ink = I \sin \alpha$.

Der wirksame Theil der Kraft, die ein geradlinigter Strom gegen einen Magnetpol ausübt, gegen dessen Schwingungsebene er beliebig geneigt ist, verhält sich also wie der Sinus des Winkels welchen seine Wirkungsebene mit der Schwingungsebene bildet und steht senkrecht auf der Durchschnittslinie beider Ebenen.

Wenn der Strom an einer Magnetonadel vorübergeht, deren Grösse im Verhältnisse zum kürzesten Abstände der Stromlinie sehr gering ist, so kann man eine durch die Stromlinie und die Mitte der Nadel gelegte Ebene, ohne viel zu fehlen, als die Wirkungsebene für beide Pole annehmen. Der eine Pol wird demnach durch die Kraft $+I \sin \alpha$ *) der andere durch die Kraft $-I \sin \alpha$ beschleunigt. Beide Kräfte vereinigen sich der Nadel eine Stellung winkelrecht auf die Durchschnittslinie der Ebenen zu ertheilen, weil in diesem Falle ihre magnetische Axe mit der Richtung der Kräfte zusammenfällt.

Man denke sich in der Wirkungsebene, vom Stützpunkte der Nadel als Mittelpunkt einen Kreis gezogen; der geradlinigte Strom werde, ohne die angenommene Wirkungsebene zu verlassen, an verschiedenen Punkten der Peripherie dieses Kreises als Tangente vorübergeführt, seine Einwirkung auf die Nadel wird stets, sowohl der Richtung wie der Grösse nach dieselbe bleiben.

431. Da erfahrungsmässig jedes Stück eines Stromleiters magnetische Kraft äussert, so folgt von selbst dass die magnetische Wirkung eines electricchen Stroms aus den Wirkungen der einzelnen Theile oder Elemente desselben zusammengesetzt ist. Es sey AB (Fig. 179) ein geradlinigter Strom n ein benachbarter frei beweglicher Magnetpol. Die Richtung der Abstossung die ein beliebiges Stromelement ab gegen denselben ausübt, wird aus der Lage der Wirkungsebene abn erkannt und bleibt folglich für alle Elemente des Stroms gleich. Nicht so ist es mit der Stärke der Wirkung.

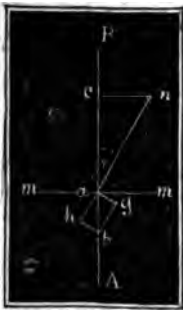


Fig. 179.

Vorher (129) wurde bewiesen, dass ein

*) Wenn der Werth $I \sin \alpha$ für die Mitte der Nadel gilt, so ist von dem auf die Pole wirkenden Kräften, die eine um ein geringes grösser als $I \sin \alpha$ und die andere, ihrem absoluten Werthe nach, näherungsweise um eben so viel kleiner ist. In der Summe ihrer Drehungsmomente heben sich daher diese Unterschiede beider Kräfte auf.

nen in seiner Richtung selbst befindlichen Magnetpol keine Wirkung ausübt. Wir sind berechtigt dieses Erfahrungsgesetz auf die Theile eines Stroms anzuwenden und müssen auch annehmen, dass jedes Stromelement winkelrecht auf die Richtung (z. B. das Element ab nach der Linie mm') seine Wirkung hervorbringt. In Beziehung auf einen Magnetpol, dessen geradlinigte Entfernung bn mit der Stromlinie den Winkel $Bbn = \varphi$ bildet, lässt sich das Element ab gleichsam aus zwei Theilen, ag und ah zusammengesetzt betrachten, von welchen nur die Kraft $ag = ab \sin \varphi$ den Pol zu bewegen strebt, während $ah = ab \cos \varphi$ in die Richtung der Linie an fällt und für die Wirkung auf den Punct n verloren geht.

Wenn diese Ansicht der Sache die richtige ist, muss ein Strom, welcher nach einer gewissen Haupttrichtung in Schlangenwindungen

Fig. 180.



fortschreitet, wie $acdb$ Fig. 180 auf einen benachbarten Magnetpol m gerade so wirken, wie ein in gleichem Abstände nach derselben Richtung gehender geradlinigter Strom aq ; beide in entgegengesetztem Sinne laufend müssen einander aufheben.

Nämlich deutlich, dass der wirksame Theil gh eines Stromstücks ab genau denselben Werth erhält, ob der Strom den kürzesten Weg ab oder den gekrümmten $acdb$ wählt. Folglich muss die Einwirkung auf den Punct m in beiden Fällen gleich seyn, vorausgesetzt nur, dass die Krümmungen so klein sind, dass der Abstand des Punctes m von verschiedenen Puncten sowohl des geraden als des gekrümmten Stromstücks ab beiläufig als gleich angenommen werden darf. In der That findet man, dass ein Strom, welcher durch einen Punct p in die Schlangenwindungen eindringt und durch die Puncte aq wieder zurückläuft, eine nicht allzunahe stehende Magnetnadel in vollkommener Ruhe lässt.

Dasselbe findet statt, wenn der Strom nach einer gewissen Haupttrichtung in Schraubenwindungen fortschreitet, deren Durchmesser, verglichen mit dem Abstände des Poles klein sind. Denn man kann sich die Kraft eines jeden Stromelementes nach der

Fig. 181.



Längsrichtung des Stroms ax (Fig. 181) und den rechtwinklig darauf stehenden Linien ay und az in drei Seitenkräfte zerlegt, so gehen, wie man leicht übersieht, alle nach der Linie ax fallenden Seitenkräfte nach gleicher Richtung vorwärts und ergänzen sich zu der Stromlinie ax von glei-

cher Länge wie die Spirale, während die Seitenkräfte nach Richtungen ay und az in Paare, vorwärts und rückwärtswärts und niederwärts gehender Ströme von gleicher Länge Stärke zerfallen, und daher ihre Wirkungen auf den Magnet wechselsweise aufheben müssen.

432. Wir dürfen nach dem Vorhergehenden abweisen annehmen, dass der wirksame Theil eines

Fig. 182.



Stromelementes ab (Fig. 182), beziehungsweise zu einem Magnetpole n , dessen Abstand an mit der Bewegungsrichtung des Elementes ab den Winkel φ erzeugt nur den Werth $ab \sin \varphi$ besitzt.

Es sey nun $ac = s$ ein Stück eines Stroms unbegrenzter Länge, $ab = ds$ ein Element desselben, g die absolute Stärke der magnetischen Kraft, ausgedrückt von der Einheit der Stromlänge auf die Einheit des freien Magnetismus in dem Abstände $= 1$, so lässt sich der wirksame Theil eines Elementes ab , bezogen auf die Einheit des freien Magnetismus, ebenfalls in dem Abstände $= 1$ aber in der Richtung der Linie an ausdrücken durch $g \cdot ds \cdot \sin \varphi$. — Nach dem was über die Wirkung magnetischer Kräfte in die Ferne bekannt ist, war zu vermuten, dass die Wirkung eines Stromelementes auf einen entfernten Magnetpol sich verhalten werde, wie das Product der magnetischen Kraft des Elementes in den freien Magnetismus (μ), des Pols, und verkehrt wie das Quadrat der Entfernung. Die durch das Element ab bewirkte Abstossung des Punctes n muss also nach seyn $\frac{\mu \cdot g \cdot ds \cdot \sin \varphi}{a n^2}$; ein Ausdruck welcher, wenn der rechte Abstand nc des Pols von der Stromlinie $= R$, für $an = \frac{R}{\sin \varphi}$ gesetzt wird, sich verwandelt in $\frac{\mu \cdot g \cdot ds \cdot \sin^3 \varphi}{R^2}$. rechnet man die Summe der Abstossungen, welche durch das ganze Stromstück $s = ca$ gegen den Pol n bewirkt werden, erhält man dafür

$$P = \frac{\mu g \cos \varphi}{R} *).$$

*) Es ist nämlich, da $nc = R$, die Stromlänge $x = s = \frac{R}{\tan \varphi}$. Daher $ds = \frac{R}{\sin^2 \varphi}$. Diesen Werth von ds in den oben gefundenen Ausdruck $\frac{\mu g ds \sin^3 \varphi}{R^2}$ substituirt und das Integral genommen, erhält man $\int \frac{\mu g \sin \varphi d\varphi}{R} = \frac{\mu g \cos \varphi}{R}$; wo die Constante zuzufügen, weil für $\varphi = 90^\circ$ die Stromlänge zwischen s und n unendlich wird, also ihre magnetische Kraft Null wird.

einen geradlinigten Strom von unbegrenzter Länge wird $\varphi = 0$ und $\cos \varphi = 1$, daher die abstossende Kraft $P = \frac{\mu g}{R}$; d. h. sie steht im geraden Verhältnisse

zur Stromstärke und zum freien Magnetismus des Pols und im einfachen umgekehrten des senkrechten Abstandes des magnetischen Punctes von der Stromlinie.

Diese Folgerung, in aller Strenge zwar nur auf einen Punct vom freiem Nord- oder Süd-Magnetismus gültig, lässt sich auch auf Magnetnadeln ausdehnen, wenn sie, vergleichungsweise zu ihrer Länge, von der Stromlinie weit abstehen. Aus den nachstehenden Versuchen geht hervor, dass die Einwirkung des electricischen Stroms auf eine Magnetnadel nach diesem Gesetze mit befriedigender Genauigkeit selbst dann schon berechnet werden kann, wenn kürzester Abstand von der Stromlinie nicht mehr als das 5fache ihrer halben Länge beträgt.

Ein geradlinigter Kupferdraht von 1 Metre Länge oder darüber lief in der Ebene des magnetischen Meridians einer horizontal schwingenden Magnetnadel 5 Centimetre Länge und parallel mit der Horizontalebene. Leitete man einen constanten Strom durch den Draht, so wurde die Nadel aus ihrem Stande um irgend einen Winkel α abgelenkt. Die bei dieser Ablenkung

wirksame abstossende Kraft $\frac{mg}{R} \cos \alpha$, (m ist das magnetische Moment der Nadel), muss mit der zurückführenden Kraft des Erdmagnetismus im Gleichgewichte stehen,

$$\text{daher } \frac{mg}{R} \cos \alpha = Tm \sin \alpha$$

$$\text{und } \operatorname{tng} \alpha = \frac{g}{RT}$$

Tangente des Ablenkungswinkels verhält sich wie die Stromstärke und umkehrt wie der Abstand des Drahtes von dem Mittelpuncte der kleinen Magnetnadel.

Die Stärke electricischer Ströme lässt sich bekanntlich mit der Tangentenbussole oder mit der Sinusbussole sehr genau messen. Lässt man nun Ströme von verschiedener Stärke durch ein solches Messinstrument und zugleich durch den oben beschriebenen Apparat gehen, so findet man eine vollkommene Proportionalität in den Tangenten der Ablenkungswinkel beider Magnetnadeln. Als Strom, dessen Stärke mittels des Galvanometers und Regulators unverändert erhalten wurde, bei veränderten Abständen R durch den Draht ging, sieht man:

$$\begin{array}{l} \text{Abstände} = 1 \quad , \quad 3 \quad , \quad 4 \quad \text{Decimeter} \\ \text{Ablenkungen} = 36^\circ \quad , \quad 13^\circ,5 \quad , \quad 10^\circ \end{array}$$

$$\text{Ist aber } \frac{\operatorname{tng} 36^\circ}{4} = \operatorname{tng} 10^\circ,3; \quad \frac{\operatorname{tng} 36^\circ}{3} = \operatorname{tng} 13^\circ,6.$$

In diesen Versuchen war der Leitungsdraht gleichlaufend mit der Schwingungsebene und senkrecht unter den Mittelpunct der Nadel gestellt. Eine solche Lage ist jedoch nicht nothwendige Bedingung für die Anwendbarkeit des gegebenen Gesetzes; wesentlich ist nur, dass bei veränderter Grösse von R der Ablenkungswinkel β , zwischen der Schwingungsebene der Nadel und der Wirkungsebene des Stroms, unverändert bleibe. Der absolute Werth von $\operatorname{tng} \alpha$

lässt sich allerdings umwandeln in $\operatorname{tng} \alpha = \frac{g \sin \beta}{RT}$.

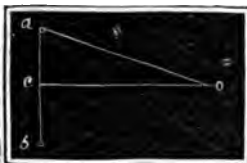
Aufgabe: Mit Rücksicht auf die vorgetragenen und als richtig e
Lehrsätze wird man jetzt den Einfluss eines beliebigen Systems gerade
durch welche der Strom geht auf eine entfernte Magnetnadel, durch
im Voraus zu bestimmen im Stande seyn. Beispielsweise mag die folg
fache Aufgabe genügen: Ein Strom von gegebner Stärke g durchdri
in Form eines Quadrats gebogenen Draht, dessen Ebene die Schwing
einer kleinen horizontalen Magnetnadel lothrecht und parallel mit der
tischen Meridian durchschneidet. Die gerade Linie, welche den Mittel
Nadel mit der Mitte des Quadrats verbindet, steht auf der Ebene des
senkrecht. Ihre Länge ist gegeben und gleich l ; die Länge einer
seite = s . Man findet

$$\operatorname{tng} \alpha = \frac{2 g s^2}{T \left(\frac{s^2}{4} + l^2 \right) \sqrt{\frac{s^2}{2} + l^2}}$$

Ganz allgemein lässt sich der Einfluss eines electrischer
von gegebner Stärke auf die horizontal schwingende
nadel, mag nun der Leitungsdraht eine geradlinigte oder g
Gestalt haben, durch Rechnung finden, indem man die bew
Kraft eines jeden Stromelementes in drei Seitenkräfte zerle
welchen die eine auf der Schwingungsebene senkrecht st
also wirkungslos ist, die beiden andern dagegen in dies
selbst fallen, und zwar die zweite in die Richtung des magn
Meridians der Nadel, die dritte rechtwinklig darauf. Die
aller nach der dritten Richtung thätigen Elementarkräfte
Grösse der ablenkenden Kraft, während die dem Meridiam
gerichteten Kräfte sich zu der rückführenden Kraft des I
netismus addiren.

Wir heben nur noch einen einzigen Fall, nämlich den de
förmig gebognen Stromleiters, wegen seiner praktischen
keit hervor.

433. Ein Metallring durch den der Strom geht werde
Ebne des magnetischen Meridians so aufgestellt, dass se
co Fig. 183. (nämlich die von sein
teltpuncte c errichtete Senkrechte) di
Mitte o einer kleinen Magnetnadel g
sey $ao = R$, die Entfernung eines
des Rings von der Nadel, der Radius
folglich $\sin aoc = \frac{a}{R}$, so ist der par



co wirksame Theil der bewegenden Kraft eines Ringele
 $a \cdot d\varphi$ (siehe N. 430) = $\frac{m \cdot g \cdot a \cdot d\varphi}{R^2} \cdot \frac{a}{R}$; wo g die Strom
 m das magnetische Moment der Nadel vorstellt. Eben so g
die Kraft eines jeden andern Ringelementes; es verhält sic
die Kraft eines Elementes zu derjenigen des ganzen Ring
 $d\varphi : 2\pi$, und es ergibt sich die ganze Kraft, welche die P

adel parallel mit der Axe co zu bewegen strebt,

$$= \frac{2\pi g m a^2}{R^3}.$$

Setzt der entsprechende Ablenkungswinkel sey α , so hat man

$$\frac{2\pi g m a^2}{R^3} \cos \alpha = m T \sin \alpha$$

und daraus wieder

$$\operatorname{tng} \alpha = \frac{2\pi g a^2}{T R^3}.$$

Dieses Resultat lehrt, dass die Wirkung eines Kreisstroms auf eine entfernt stehende, oder verhältnissmässig kleine Magnetnadel der dritten Potenz ihres Abstandes von der Kreisperipherie umgekehrt proportional ist, wenn die Wirkung eines einzelnen Stromelementes dem Quadrate des Abstandes verkehrt proportional ist*).

Wenn man die Magnetnadel in die Mitte des Ringes stellt, so wie es bei der Tangentenbussole geschieht, wird $a = R$, daher

$$\operatorname{tng} \alpha = \frac{2\pi g}{T R}.$$

Die Tangente des Ablenkungswinkels wächst also für einerlei Stromstärke wie der Radius des Ringes. Lässt man z. B. den Strom durch einen Ring von doppeltem Halbmesser gehen, so sinkt die Tangente des Ablenkungswinkels auf die Hälfte der anfänglichen Grösse.

Die Nothwendigkeit dieses Verhaltens ergibt sich schon aus der einfachen Betrachtung, dass die bewegende Kraft jedes Ringelementes abnimmt, wie das Quadrat des Radius zunimmt, die Anzahl wirksamer Elemente dagegen im geraden Verhältnisse zur Grösse des Radius steht. Man gewinnt hierdurch ein einfaches Hilfsmittel um das Grundgesetz der magnetischen Wirksamkeit eines Stromelementes in die Ferne in Vorlesungen zu beweisen.

*) Die Aehnlichkeit dieses Verhaltens mit demjenigen kleiner Magnetstäbe (S. II.) hat daraufgeführt, in Fällen wo die Länge der Magnetnadel, verhältnissmässig mit dem Durchmesser des Ringes, beträchtlich ist, die Grösse des Ablenkungswinkels nach der genaueren Formel

$$\operatorname{tng} \alpha = \frac{2\pi g a^2}{T R^3} + \frac{L}{R^2} \quad \text{zu berechnen.}$$

Es ist einleuchtend, dass wenn man den Werth von $\operatorname{tng} \alpha$ für zwei Entfernungen immer unter Voraussetzung gleicher Stromstärke g , aufgesucht und daraus abgeleitet hat, man im Stande ist die Gränze zu bestimmen, bis zu welcher dieser Theilsatz unbeschadet der Genauigkeit weggelassen werden darf. Diese Weise hat sich W. Weber versichert, dass bei der Tangentenbussole die Länge der Nadel den vierten oder fünften Theil des Ring-Durchmessers nicht übersteigen darf. (Pogg. Ann. 55. 27.)

434. Es ist vorher bewiesen worden, dass die Einwirkung eines Kreisstroms, dessen Ebene mit der des Meridians zusammenfällt, auf eine kleine Magnetnadel, welche um einen bei dem Punkte seiner Axe beweglich ist durch die Formel:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2 \pi g a^2}{TR^3}$$

ausgedrückt werden kann. Für einen kleinen Magnetstab g unter ähnlichen Bedingungen die Gleichung (378)

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2 M}{TR^3}.$$

Der Kreisstrom verhält sich also gegen die Nadel ganz wie ein kleiner in der Axe aufgestellter Magnetstab, der seinen Nordpol links, seinen Südpol rechts von der Richtung des Stroms dessen Mittelpunkt sich vom Mittelpunkte der Nadel in einer Entfernung befindet, welche gleich ist dem Abstände R des Mittelpunktes von der Mitte derselben Nadel und dessen magnetisches Moment $M = \pi a^2 g$.

435. Die galvanometrischen Messungen, so wie sie gewöhnlich ausgeführt werden, geben nur eine Vergleichung verschiedener Stromstärken aber keine absoluten Maasse. Um die magnetische Kraft eines Stroms zu bestimmen ist es beinahe immer nothwendig, den Einfluss eines jeden Elementes auf die Nadel in Rechnung bringen zu können. Dazu sind meistens Galvanometer nicht eingerichtet. Die Gesamtwirkung eines ringförmigen Stromleiters auf die Nadel lässt sich daher schwerer gezeigt wurde, leicht und sicher berechnen. Die Tangentibussole bietet daher ein Hilfsmittel, die magnetische Kraft eines elektrischen Stromes auch ihrem absoluten Werthe nach zu lernen.

In der That, kennt man den Radius des Ringes und die Intensität des Erdmagnetismus am Beobachtungsorte, so ergibt sich die absolute Stromstärke

$$g = \frac{TR \operatorname{tg} \alpha}{2 \pi}$$

Bei dem Fig. 141 S. 295 abgebildeten Instrumente ist $R = 1,90$ Mmtr, und an dem Orte, wo es aufgestellt ist, $T = 1,90$. Für die Bussole gilt daher die Formel: $g = 60,71 \operatorname{tg} \alpha$. Würde die Nadel z. B. um 45° abgelenkt, so ergäbe sich eine absolute Stromstärke von $60,71$; d. h. ein Metallring, welcher eine 1 cm^2 Fläche begränzt, von diesem Strome durchlaufen, dessen magnetisches Moment $\pi a^2 g$ also gleich $60,71$ ist, wirkt aus der Ferne auf einen magnetischen Punkt oder auf eine Nadel gerade $60,71$ mal stärker, als das Grundmaass des freien Magneten an seiner Stelle wirken würde, oder $\frac{60,71}{1,9}$ mal stärker als d

Theil des Erdmagnetismus. Einer trägen Masse von 1 Millgrm, mit der Einheit des magnetischen Fluidums, würde da- einer Sekunde bei x Mmtre Entfernung die Geschwindigkeit $\frac{60,71}{x^3}$ Mmtre eingeprägt worden.

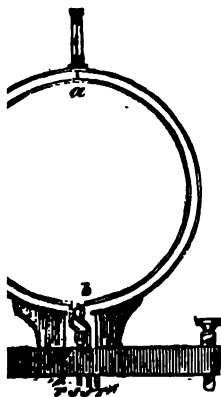
sind jetzt leicht im Stande den mechanischen Effect einer en Electricitätsmenge, etwa von 1 Aequivalent dieses Fluid- während es sich um das Flächenmaass herum bewegt, zu en. Es ist früher (N. 399) gezeigt worden, dass bei einer ng der Nadel von α Graden, die Zersetzungszeit für 1 Aequi-asser beträgt: $t = \frac{10000}{5,0255 \operatorname{tng} \alpha}$. Soeben wurde gefunden,

derselben Ablenkung α , in einer Sekunde Zeit, der Massen- bei x Mmtre Entfernung, die Geschwindigkeit $g = 60,71 \frac{\operatorname{tng} \alpha}{x^3}$ wird. Die Geschwindigkeit in t Sekunden ist daher

$$tg = \frac{10000 \cdot 60,71 \operatorname{tng} \alpha}{5,0255 \operatorname{tng} \alpha x^3} = \frac{120800}{x^3} \text{ mmtre.}$$

electrische Strom äussert also während der Zersetzungs- 1 Aequivalent Wasser, während er das Flächenmaass um- eine magnetische Kraft, wodurch einer trägen Masse eine indigkeit ertheilt werden kann, 120800 mal so gross, als m Masse durch die Einheit des magnetischen Fluidums in kunde mitgetheilt wird. W. Weber hat den Vorschlag ge- lenjenigen Strom, welcher wenn er das Flächenmaass um- , dieselbe Wirkung, wie das Grundmaass des freien Mag- s, aus gleicher Entfernung hervorbringt, als Stromereinheit en. Er nennt demgemäss den Quotienten vom Aequivalent sers durch die Zahl 120800, d. h. diejenige Wassermenge, welche durch die Stromereinheit in einer Sekunde zersetzt wird, electroche- misches Aequivalent des Was- sers. (Pogg. Ann. 55. S. 181.)

Fig. 184.



436. Ein Drahttring abc Fig. 184 werde bei a an einem ungedrehten Seidenfaden aufgehängt. Senkrecht unter dem Aufhängepunkte ist der Zusammenhang des Rings unterbrochen und die dadurch gebildeten Enden tauchen in die Quecksilbernäpfe b und d ohne jedoch auf dem Boden derselben aufzutossen. Beide Näpfe stehen genau senkrecht unter dem Punkte a und gestatten deshalb eine freie Bewegung des Ringes um den Durchmesser ab .

Verbindet man die zu den Quecksilbergefässen führenden Enden s und s' mit den Polen einer galvanischen Kette, so l... sich der Ring und strebt eine solche Stellung einzun... dass seine Ebene den magnetischen Meridian winkelrecht... schneidet. Denn diese Lage worin der Kreisstrom einer... nen Magneten vorstellt, dessen positiver Pol nach Nord... richtet ist, ist die einzige welche einen dauernden Gl... wichestzustand gestattet. Wenn die Ringebene den Meridian... winkelrecht durchschneidet, aber der kleine Magnet den s ... stellt, seinen negativen Pol nach Norden kehrt, so findet alle... auch Gleichgewicht statt, es ist jedoch unbeständig; der Rin... bei der geringsten Aenderung dieser Stellung ganz umgedr... jeder andern Lage sich selbst überlassen schwingt er ähnl... Magnetnadel um die vorhererwähnte Ruhelage. Er erhält... grösstes Drehungsmoment, wenn seine Ebene mit der det... dians parallel steht. Dieses Drehungsmoment ist π ... d. h. es wächst proportional mit der Stromstärk... dem Flächeninhalte der Ringebene.

Die Kraft eines jeden Stromelementes sr (Fig. 185)

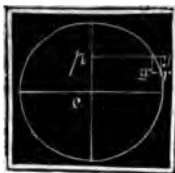


Fig. 185.

nämlich in zwei Theile sy und sx . Der ers... wirkungslos, weil seine Richtung mit der... des Erdmagnetismus zusammenfällt; der... besitzt das Moment $sp \cdot sx$. Es ist nun ersi... dass die Summe der Momente der wirl... Theile aller Stromelemente, dem absoluten... nach gleich ist dem Quadratinhalte πa^2 de... ses. Mit Recht haben wir also den Ausdruc... als das statische Moment des Kreisstroms zu betrachten.

Es ist einleuchtend dass ein viereckig gebogner, übrig... gleiche Weise aufgehängter Draht ein ganz ähnliches Ve... zeigen muss. Das entsprechende Drehungsmoment ist 4... wenn $2a$ die Länge einer Seite bezeichnet.

437. Ein beweglicher Leitungsdraht, so wie Fig. 186... wie Fig. 187 aus zwei Rechtecken zusammengesetzt, verhi...

Fig. 186.

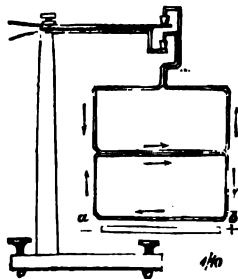
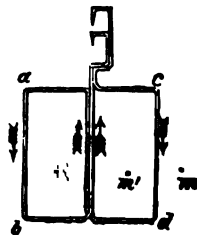


Fig. 187.

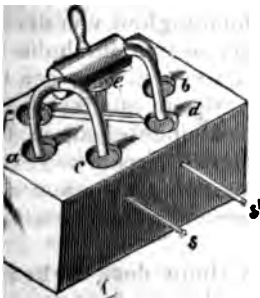


gegen den Einfluss des Erdmagnetismus, weil, wie man übersehen, die Wirkung des einen Rechtecks die des andern wieder aufhebt. Solche astatische Stromleiter, an einem Draht wie in Fig. 186 aufgehängt, so dass sie ein leicht bewegliches System bilden, zeigen fest liegenden Magnetstäben gegenüber ein ähnliches Verhalten, wie astatische Magnetnadeln unter dem Einflusse unbeweglicher Stromleiter. Befindet sich z. B. bei Fig. 187, zunächst der Seite cd des astatischen Rechtecks, ein Nordpol, so wird der Draht cd winkelrecht gegen die Ebene cdm abgelenkt. Befindet sich derselbe Pol bei m' , so tritt eine ähnliche Ablenkung aber in entgegengesetztem Sinne ein. Bringt man daher an die Punkte m und m' die Pole eines Hufeisenmagnets, so unterstützen sie einander um den Draht cd in Bewegung zu setzen, und zwar bei der in der Figur angenommenen Richtung des Stroms, zur Rechten oder Linken je nachdem in m der Nord- oder Südpol steht. Legt man einen Magnetstab nahe der Seite ab des andern astatischen Rechtecks, so stellt sich die Seite ab des letzteren winkelrecht gegen die magnetische Axe ab, und zwar so, dass sein Nordpol sich immer zur Linken durch den Draht ab gehenden Stroms befindet. Durch Umdrehung des Stroms wird daher die Gleichgewichtslage gestört und der Draht muss einen Bogen von 180° beschreiben.

Das astatische Rechteck ist zuerst von Ampère benutzt worden, um die Einwirkung unbeweglicher Magnetstäbe auf bewegliche Stromleiter, eine Einwirkung die theoretisch allerdings leicht nachzuweisen war, auch experimentell zu bewähren.

3. Derselbe Gelehrte hat eine bequeme Vorrichtung ersonnen, um electrische Ströme rasch umzukehren. Sie hat den Namen

Fig. 188.



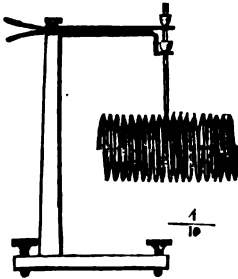
Gyrotrop oder Commutator erhalten und besteht aus einem Stücke dichten Holzes (Fig. 188) in welchem 6 Vertiefungen, bestimmt um Quecksilber aufzunehmen, angebracht sind. Die Oeffnungen a und b werden mit den Polen des Electromotors in Verbindung gesetzt; c steht durch einen dicken Kupferdraht in leitendem Zusammenhange mit e , ebenso d mit f . Beide Drahtstücke durchkreuzen sich also, ohne jedoch einander zu berühren. Auf dem Brete sitzt eine Wippe mit 6 Füßen aus dickem Kupfer-

, entsprechend den 6 Quecksilberbehältern. Zwei dieser Füße, welche in die Oeffnungen a und b eintauchen, sind länger als die übrigen; so dass von den letzteren immer nur zwei zu- und abfließen, nämlich c und d oder f und e in die zugehörigen Quecksil-

bernäpfe eingehen können. Die Füße *a*, *c* und *f* bilden ein menhängendes Metallstück, ebenso die Füße *b*, *d* und *e*. Abtheilungen der Wippe sind aber nur durch einen Hand Holz verbunden und stehen folglich in keinem leitender menhang. Man begreift nun leicht, dass der z. B. bei *a* gende Strom in den Ableitungsdraht *s* oder *s'* übergeführt muss, je nachdem man die Wippe auf der einen oder der Seite niederdrückt.

439. Es ist vorher gezeigt worden, dass der Kreisstrom ähnlich verhält wie ein kleiner Magnet, dessen positiver I links von der Richtung des Stroms befindet. Biegt man n Leitungsdraht einer electricischen Kette zu mehreren fortla Windungen von gleicher Grösse, etwa in Form einer Schrauh erhält man eine Reihe kleiner, gleichgerichteter Magnete

Fig. 189.



Wirkungen also einander unterstütz sen. Die Figur 189 zeigt einen schraubenförmig gewundenen Kupf Hängt man denselben an dem (Fig. 186) auf und wird er von den durchdrungen, so stellt sich seine richtung in den magnetischen Meri dass der Strom den magnetischer zur Linken hat. Verrückt man ihn ser Lage so kehrt er nach einer R Schwingungen (die nöthige Empfin der Aufhängung vorausgesetzt) im

der in dieselbe zurück. In ähnlicher Weise folgt die mag Schraube der Einwirkung eines genäherten Magnetpols. lässt sich jedoch die Analogie mit einer Magnetnadel ni dehnen. Das grösste magnetische Moment der Schraul nicht, wie bei einem Magnetstabe, in Abhängigkeit von de sondern wird nur durch die Stromstärke, so wie durch die und Anzahl der Windungen bestimmt. Es sey z. B. *a* der die Zahl der Windungen, so ist das grösste statische $= n \cdot \pi \cdot a^2 \cdot g$; also nicht grösser als das eines einzigen in welchem ein Strom von *n*facher Stärke circulirt. Ve man dieselbe Drahtlänge zu einem einzigen Ringe von Grösse, so wird das entsprechende Moment $\pi (na)^2 g$ al so gross als vorher.

Diese Folgerungen lassen sich mit Hülfe des Webe kleinen Magnetometers oder magnetischen Intensitätsmesse Fig. 149) leicht auch experimentell rechtfertigen, indem r Drahring oder die Schraubenwindungen in passender Ent von der Nadel so aufstellt, dass ihre verlängerte Axe in d der Nadel trifft und zugleich auf dem magnetischen Meridiu recht steht. Aus der bewirkten Ablenkung und dem bekan

ann mittelst der Gauss'schen Formel das Moment

tromagnete. Der electriche Strom besitzt die Eigen-
ürlichen magnetischen Kräfte des Eisens zu scheiden.
eine Stange von weichem Eisen mit einem Draht-
man mit den Polen einer electriche Kette verbindet,
augenblicklich magnetisch polarisch und verharrt in
unde, so lange sie von dem Strome umkreist wird.
ngsweise zur Richtung des letzteren, linke Seite er-
ositiven Pol, ihre rechte Seite einen negativen Pol.
hrung des Stroms wird diese Polarität alsbald oben-
hrt. Öffnet man die Kette, so verschwindet sogleich
ld nachher jede Spur von freiem Magnetismus. Nur
beide Pole durch einen Anker von weichem Eisen ver-
n, und dieser nicht mit Gewalt abgerissen wird, er-
Theil der wechselseitigen anziehenden Kraft noch

netische Kraft eines Electromagnets verhält
e Stärke des Stroms, welcher den Eisenstab
im diess zu beweisen schliesse man in den Kreis der
Kette neben dem Drahtgewinde, eine Tangentenbus-
Stromregulator; dann messe man bei verschiedenen
die Einwirkung des Electromagnets auf eine entfernte
nach der vorher schon erwähnten, in N. 378 ausfüh-
ten Methode; am bequemsten unter Beihülfe von We-
m Intensitätsmesser. Man findet auf diesem Wege das
Electromagnets oder eigentlich den Ausdruck

$$\frac{2M}{T} = R^2 \operatorname{tng} \alpha.$$

ge Stromstärke ergibt sich aus der Gleichung:

$$\frac{g}{T} = \frac{R^2 \operatorname{tng} \alpha'}{2\pi}.$$

ingen sagen, dass das Moment M sich verhält wie
des Ablenkungsbogens der Intensitätsnadel, und dass
ke g der Tangente des Ablenkungsbogens der Gal-
del proportional ist. Wenn daher das Moment eines
ts mit der Stromstärke gleichmässig zu- oder abneh-
muss man für jede Veränderung des Werthes von
roportionale Aenderung von $\operatorname{tng} \alpha$ erhalten; und so
lich der Versuch.

ugte magnetische Kraft ist, wenn die Enden
s von den äussersten Drahtwindungen so weit ab-
letzte von ersteren aus gesehen einen nicht zu
enden kleinen Bruchtheil der Kugelgröße decken,
; von der Weite der Drahtwindungen. Denn

wenn man einen Kern von Eisen mit concentrischen Drägen von ungleichem Durchmesser, jedoch einer gleiche von jeder Art, umgibt, und einen Strom von beständig abwechselnd durch die einen und andern gehen lässt, so Ablenkungsbogen α , folglich auch das Moment des Electr unverändert.

Dieses Verhalten erklärt sich dadurch, dass jeder K die magnetischen Kräfte nicht nur solcher Eisentheile, die

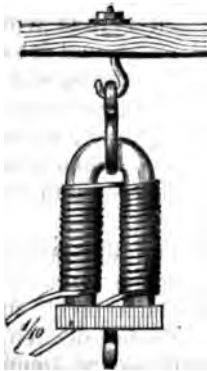
Fig. 190.



Ebene liegen, zu trennen sucht dass er auch auf die rechts von seiner Ebene gelegnen T Eisenkerns einwirkt. Es sey (Fig. 190) und $R_0 = R$ die H_z zweier concentrischen Ströme

durch ihre gemeinschaftliche Axe gelegte Eisenkern, so w von dem Ringe $2r\pi$ in dem Punkte a , und die von dem R₁ in dem unter gleicher Neigung gelegnen Punkte b bewir netischen Ausscheidungen sich verhalten, verkehrt wie die ser R und r . Die zwischen gleichen Winkelweiten gelegen des Eisens und folglich auch die Punkte proportionaler Wi vergrössern sich aber mit dem Ringhalbmesser. Die Ges kung zweier Ringe von ungleichem Durchmesser muss folg seyn insofern nur der Eisenstab auf beiden Seiten der weit genug hervorsteht. Wird diese letztere Bedingung ten, so ist es übrigens, hinsichtlich der Stärke des ent Magnetismus ganz gleichgültig, ob der Strom den Eisens Mitte oder näher dem einen oder andern Ende umkreist. wenig äussert die Ordnung in welcher die Windungen n übereinander liegen den geringsten Einfluss; nur darl eine metallische Berührung statt finden und alle Windur sen nach derselben Richtung gehen; d. h. die kleiner

Fig. 191.



welche sie vorstellen müssen je die j gen Pole nach derselben Seite hir Hufeisenförmig gebogne Eisenstäb_z genau in der Weise wie die ger_z wickelt werden, so nämlich, dass w sich das Hufeisen aufgebogen denkt, dungen in gleichem Sinne gehen (Fig. 191)

Aus dem Vorhergehenden ergibt unmittelbare Folge, dass der in einer stab durch den Strom erregte tismus, bei gleichbleibender stärke, mit der Anzahl Umwir in geradem Verhältnisse zunig gen diese nun neben- oder übereinand

seyen. Nur solche Windungen die dem Ende eines Eisenkerns nahe liegen oder deren Umfang von der Oberfläche des Eisens absteht, als dieses über der Ringebene hervorragt, besitzen am oben angegebenen Grunde eine etwas geringere Wirksamkeit als die übrigen. Das eben ausgesprochne Gesetz lässt sich sichrer und mit grösserer Allgemeinheit auf folgende Art rücken: Die gesammte Wirkung in die Ferne der um den Eisenkern umgebenden Windungen ist gleich der Summe der Wirkungen der einzelnen Windungen. Auf die Stärke der ausgeschiedenen magnetischen Kräfte ausser aber auch die Beschaffenheit des Eisenkerns selbst einen sehr grossen Einfluss. Gewöhnlich wählt man dazu cylindrische Eisenkerne, weil diese sich am bequemsten mit dem Kupferdraht so einwickeln lassen, dass der Raum im Innern der Windungen vollständig ausgefüllt wird. Man findet nun, dass die magnetische Wirksamkeit (die ablenkende Kraft) verschiedener gleich dicker Cylinder mit ihrer Länge zunimmt, jedoch nicht verhältnissmässig, sondern in grösserem Verhältnisse als die Länge.

seyen z. B. 4 cylindrische Stäbe von 395; 300; 260 und 200 Mmtr Länge, 10 Mmtr Durchmesser, welche nach einander in eine Drahtrolle von 574 Mmtr Länge gesteckt und dadurch in Electromagnete verwandelt werden. Man bestimme ihre Momente nach dem in N. 380 beschriebenen Verfahren, immer bei einer Stromstärke, aus den bei je zwei Abständen von der Intensitätsnadel beobachteten Ablenkungen, mit Hülfe der Gauss'schen Formel

$$\frac{2M}{T} = \frac{R^2 \operatorname{tng} \alpha - R'^2 \operatorname{tng} \alpha'}{R^2 - R'^2}$$

auf diese Weise ermittelte Moment ist jedoch zusammengesetzt, aus dem Moment des Eisenkerns und dem der Drahtrolle für sich. Man bestimme daher das Moment der letzteren und ziehe den dafür gefundenen Werth von dem Moment eines jeden Electromagnets ab. Die Zahlen der zweiten Spalte in der folgenden Tabelle sind auf diesem Wege und zwar für die Stromstärke 100,65 Ampere $\operatorname{tng} 35^\circ$ bestimmt worden. Sie sind vergleichbare Ausdrücke für die Wirkung der zugehörigen magnetischen Eisencylinder, aus weiter Entfernung auf die Magnetsnadel.

Länge des Eisenkerns	$\frac{2M}{T}$		l mmtre
	abgeleitet aus der Beobachtung	berechnet	
395	1182300000	1187000000	160,6
300	853792000	853800000	113,1
260	637660000	686000000	93,1
200	463600000	466300000	63,1
der leere Eisenkern	56444000		

Das magnetische Moment $M = 2 \mu l$ eines Magnetstabs ist das Product der magnetischen Flüssigkeiten (2μ) in die halbe Scheidungsdistanz (372) oder in den Abstand (l) eines Pols von der Mitte des Stabs. Nach Gauss's Untersuchungen (291) ist die Menge und Vertheilung des freien

Magnetismus an beiden Enden eines Magnets, dessen Länge 180 Mmre und darüber beträgt, unabhängig von der Länge, und vom äussersten Ende bis zu 50 Mmre Entfernung hin, bei cylindrischen Stäben von gleicher Dicke fast dieselbe. Die (idealen*) Pole der vier durch den electricischen Strom magnetisirten Eisencylinder müssen daher in beinahe ein und demselben Abstände x von ihren Enden liegen, und es muss seyn $M = 2\mu \left(\frac{L}{2} - x \right)$, wenn L die Länge eines Cylinders

vorstellt. Vorausgesetzt nun, dass die Menge des durch den Strom ausgeschiedenen magnetischen Fluidums in Cylindern von gleicher Dicke, wenn sie genügend weit aus den Windungen hervorragen gleich ist, wird es möglich auf je zweien Gleichungen obiger Gestalt μ und x und folglich auch die halbe Scheidungswerte t abzuleiten. Für x wurde als Mittelwerth 36,9 mm gefunden. Hiernach berechneten Momente der 4 Eisencylinder stimmen mit den aus der Beobachtung abgeleiteten Resultaten genau genug überein, um zu beweisen: dass in cylindrischen Eisenstäben von gleicher Dicke, aber ungleicher Länge, unter dem Einflusse desselben electricischen Stromes gleiche Quantitäten von Magnetismus ausgeschieden werden, dass aber dessen ungeachtet die Wirkung in die Ferne nicht gleich, sondern der Grösse der Scheidungswerte proportional ist.

Da nun bei ein und demselben Eisencylinder, wie lang er auch seyn mag, stets ein mit der Stromstärke proportionales Anwachsen der magnetischen Kraft wahrgenommen wird, so muss man schliessen, dass die Scheidungswerte und folglich auch das Vertheilungsgesetz des frei gewordenen Magnetismus ganz unabhängig ist von der Quantität der getrennten Flüssigkeiten; d. h. dass ein und derselbe Stab seine Pole immer an denselben Punkten erhält, wie viel oder wie wenig Magnetismus darin entwickelt worden seyn mag.

Die magnetische Wirksamkeit eines Electromagnets ist bei gleichbleibender Stromstärke hauptsächlich von der Beschaffenheit seiner Oberfläche abhängig. Als man einen massiven und einen hohlen Cylinder, beide von 38 Mmre Dicke nach einander in eine Drahtrolle von 500 Windungen in 9 Lagen übereinander, schob, erhielt man fast dieselbe Ablenkung der Intensitätsnadel. Dieses fand sogar dann statt, wenn der hohle Cylinder aus Eisenblech verfertigt war. Als man während des Versuchs in die Höhlung des letzteren einen dieselbe ausfüllenden massiven Eisenkern schob, würde die Stellung der Nadel nicht merklich dadurch geändert. Die innere Masse des Eisens nimmt folglich keinen, oder doch nur einen geringen**) Antheil an der magnetischen Thätigkeit; wie stark auch die magnetische Entwicklung an der Oberfläche seyn mag.

Bei diesem Verhalten des Eisens gegen die magnetische Einwirkung der bewegten Electricität lässt sich mit der grössten Wahrscheinlichkeit annehmen, dass die Menge magnetischer Flüssigkeit

*) Es gibt eine ideale Verbreitung der beiden magnetischen Fluida auf der Oberfläche des Magnets, welche mit der wirklichen für alle äusseren Wirkungen gleichwerthig ist. Der Nordpol eines Magnets ist der Schwerpunkt des verbreiteten nordmagnetischen, der Südpol der Schwerpunkt des ebenfalls an der Oberfläche verbreiteten süd-magnetischen Fluidums.

**) Wenn die Drahtwindungen aus beträchtlicherer Entfernung auf den Eisenkern einwirken, so wird ihr Einfluss auf die inneren Eisentheile merklicher.

en, welche an der Oberfläche eines Cylinders ausgeschieden sich verhält nahezu wie die Grösse der Oberfläche.

Ablenkungsversuche geben jedoch nur eine unvollkommene Bestätigung Folgerung, denn man findet, dass die magnetischen Momente cylindrischen Stäbe in etwas geringerem Verhältnisse abnehmen, als ihre Durch- oder Oberflächen. Z. B. drei 200 Mmtr lange Cylinder von 38; 19 und Durchmesser, welche nach einander der Einwirkung desselben Stromes tzt wurden, erhielten die magnetischen Momente:

294376 und 140200. Der obigen Annahme entsprechend, hätte man aber 231800 und 123000 erhalten müssen.

Grund dieser Abweichung ist vielleicht in dem Umstande zu suchen, dass die Scheidungswerte cylindrischer Magnetstäbe etwas grösser wird, wenn der Durchmesser abnimmt. Denn auch andere Erfahrungen, von welchen erst die Rede seyn kann, beweisen, dass die Menge magnetischen Fluidums, welches dem Einflusse gleicher Stromkräfte in Eisencylindern von ungleicher Länge erzeugt wird, den Durchmessern der letzteren proportional ist (460).

Es ist nunmehr möglich die Kraft cylindrischer Electromagnete durch Rechnung voraus zu bestimmen. Die zu diesem Zwecke geeigneten Gleichungen sind:

$$\frac{2M}{T} = A \frac{r \operatorname{tg} \alpha}{2\pi} n \cdot l \cdot d \text{ und}$$

$$\frac{2m}{T} = \frac{2n\pi a^2 g}{T} = na^2 r \operatorname{tg} \alpha.$$

Die erste gibt das Moment des Eisenkerns, die zweite das Moment der Drahtwindungen. $\frac{2M}{T} \operatorname{tg} \alpha = \frac{g}{T}$ bedeutet die Stromstärke gemessen durch den Erdmagnetismus.

n die Zahl, a den Halbmesser der Windungen; d die Dicke des Eisenkerns, l die Länge des Abstandes beider Pole von einander; A ist ein unveränderlicher Coefficient, zu dessen Ermittlung die vorher mitgetheilten Beobachtungen dienen, indem man für $\frac{2M}{T}$ und l einen der dafür gefundenen Werthe; g die Stromstärke, $r = 200,65$ und $\alpha = 35^\circ$ setzt. Man erhält dann

$$\frac{A}{2\pi} = 2,411.$$

Die Anwendung dieser Gleichungen wird am deutlichsten aus der folgenden Aufstellung hervorgehen:

Man nehme eine gegebene Kupfermasse, einen gegebenen Eisen- und vier Kohlen-Zinkelemente zu einem Paare geordnet ein Electromagnet von möglichst grosser Wirksamkeit in möglichst grosser Entfernung ausgeführt werden.

Man nehme die Länge einer Windung $= 2\pi a$; den kubischen Inhalt der Kupfermasse $= 2\pi a F$; den Leitungswiderstand eines Kupferdrahts von der Länge $2\pi a$ und dem Querschnitte $f = \varrho$, so ist der Widerstand eines Drahts

von derselben Länge und dem Querschnitte $F = \frac{\varrho f}{F}$. Da nun aber aus dieser Masse n Windungen gebildet werden, folglich die Länge n mal grösser als die Länge einer Windung, der Querschnitt dagegen n mal kleiner als f wird, so ergibt für den Widerstand sämtlicher Drahtwindungen der Werth $\frac{\varrho f n^2}{F}$.

Man nehme ϱ den Widerstand der Kette und aller zugehörigen Verbindungsdrähte, K die electromotorische Kraft; daher nach dem Ohm'schen Gesetze ist die ablenkende Kraft

die electromotorische Kraft K geteilt durch die Summe des Widerstandes $\varrho + \frac{\varrho f n^2}{F}$, und das gesuchte magnetische Moment

$$\frac{2M}{T} = 2,411 \cdot l \cdot d \cdot r \cdot \frac{nK}{\rho' + \frac{\rho f n^2}{F}}$$

Dieser Werth wird ein Maximum, wenn $\rho' = \frac{\rho f n^2}{F}$ gesetzt wird, d. h. man dem Kupferdraht eine solche Länge und Dicke gibt, dass der hierspringende Widerstand demjenigen des übrigen, unveränderlichen Theils der Kette gleich kommt. Aus dieser Bedingungs-gleichung folgt nun $n = \sqrt{\dots}$

Bei dieser Untersuchung war der Eisenkern als gegeben vorausgesetzt worden. Mit der Länge desselben vergrössert sich das magnetische Moment. Der Durchmesser kommt nicht in Betracht, denn wenn auch bei einer Verdünnung desselben die von jeder einzelnen Windung abhängige magnetische Kraft sich vergrössert, so vermindert sich dagegen, und zwar in demselben Verhältnisse, die Anzahl der Windungen, weil jede einen grösseren Umfange halten muss. Der Leitungswiderstand bleibt unverändert. Insofern also n der aus der Bedingungs-gleichung gezogene Werth gesetzt und der Kupferdraht so weit thunlich unmittelbar um den Eisencylinder gewickelt wird, ergibt sich aus der Gleichung

$\frac{2M}{Tl} = 2,411 \cdot d \cdot r \cdot \frac{nK}{2\rho'}$ das Maximum des magnetischen Moments, bei der Bestimmung von A zum Grunde liegenden Stablänge unter Berücksichtigung des gegebenen Electromotors mit der gegebenen Kupfermasse (unter der Voraussetzung, dass derselbe erzeugt werden kann *).

Beispiel: Es soll ausgemittelt werden, welche magnetische Kraft 3000 Grm gewöhnlichen Kupferdraht erzielt werden kann. Früher wurde bewiesen, dass gewöhnlicher Kupferdraht von 2,062 mm Durchmesser und 9,3 Mtre Länge denselben Widerstand wie 0,85 Regulatorwindungen darbietet. Dieser Draht gibt 60 Windungen, jede von 155 mmtre Länge. Daher wird die Widerstand einer Windung $\rho = \frac{0,85}{60}$.

Dieser Draht wog 276 Grm. Es ist hiernach $F = \frac{3000 \cdot 60}{276} f$

und $\frac{F}{\rho f} = \frac{3000 \cdot 60 \cdot 60}{276 \cdot 0,85} = 46035$.

*) Man sollte denken, dass zur Erzielung eines Maximums der Wirksamkeit die Art der Zusammenstellung der electromotorischen Elemente, ob sie nur zu einem Paare, wie in unserem Beispiele oder zu mehreren geordnet werden, nicht gleichgültig seyn könne. Es seyen überhaupt m Elemente gegeben, man ordne sie zu x Paaren, so kommen $\frac{m}{x}$ Elemente bei jedem Paare einander zu stehen. Die Kraft ist dann xK , der Widerstand im inneren Theile der Kette $\frac{\rho' x^2}{m}$, der ganze Widerstand also: $\frac{\rho' x^2}{m} + \dots$ Werden nun diese Ausdrücke in die obige Gleichung gesetzt, so lässt sich daraus zur Bestimmung der grössten Wirkung nur eine einzige Bedingungs-gleichung ableiten, nämlich $\frac{\rho' x^2}{m} = \frac{\rho f n^2}{F}$. Da zwei Unbekannte in der Gleichung vorkommen, so folgt, dass die Aufgabe unbestimmt ist. D. h. wie man die gegebenen Elemente geordnet werden mögen, man wird immer zu dem Maximum gelangen, sobald nur die Dicke des Leitungsdrahtes der erwählten Ordnung angepasst wird. (Lenz und Jakobi in Pogg. Ann. 4

Der Leitungswiderstand eines Zink-Kohlenpaars von der Grösse, wie man gewöhnlich aus Marburg bezieht, entspricht dem von beiläufig einer Regulirung. Vier Paare neben einander äussern folglich einen Widerstand. Rechnet man eben so viel für die Verbindungsstücke, so ist $\varrho' = 0,5$;

$$n = \sqrt{\frac{\varrho' F}{\varrho f}} = \sqrt{23016,5} = 151,7 \text{ Windungen.}$$

Der Berechnung ist die Dicke des Eisenkerns zu ungefähr 40 mmre annehmen. Wollte man statt dessen einen Cylinder von 60 mmre Durchmesser, so würde sich die Zahl der Windungen auf 100 verringern, die magnetische Erregung aber gleichwohl dieselbe bleiben. Um den Durchmesser des zu finden, setze man

$$152 d^2 = \frac{3000}{276} 60 (2,062)^2. \text{ Es ist } d = 4,483 \text{ mmre.}$$

Die Beurtheilung des Tragungsvermögens eines Electromagneten sind die vorstehenden Untersuchungen ungenügend. Ueber ist es bis jetzt nicht gelungen irgend einen sichern Anhalt zu gewinnen, um die Tragkraft eines Magnets aus seiner Wirkung in die Ferne abzuleiten. Wenn man an dem einen Ende eines geraden electromagnetischen Eisencylinders bei verschiedenen Stromstärken Gewichte anhängt, immer unter Vermittlung eines Ankers, und wenn man zugleich mit Sorgsamkeit darauf achtet, dass die Zugkraft der Axe des Cylinders parallel wirkt, so findet sich eine Zunahme des Tragungsvermögens proportional dem Quadrate der Stromstärke.

Um den absoluten Betrag der Tragkraft hat die Sorge die man nehmen hat, dass der Anker von allen Punkten der Berührung abhebt gleichzeitig abreisst, den auffallendsten Einfluss. Aber noch andere Nebenumstände kommen in Betracht. Ist der Anker cylindrisch und eben so dick wie der Eisenkern, so nimmt die Tragkraft mit der Länge desselben merklich zu. In gleicher Weise vermehrt sich die Tragkraft, wenn durch Verlängerung des Eisenkerns der entgegengesetzte Pol weiter fortgerückt wird. Bedeutsamer ist der Abstand der Drahtwindungen von dem Anker. Je weiter der Anker wird um so fester gehalten, je näher man sie demselben annähert, und unter übrigen gleichen Verhältnissen erreicht man den grössten Vortheil, wenn die Windungen zur Hälfte den Eisenkern und zur Hälfte seinen Anker umgeben.

Der Analogie gemäss sollte man erwarten, dass das Tragungsvermögen hufeisenförmiger Electromagnete, an deren beide Pole ein Anker gleichzeitig angelegt wird, ebenfalls mit dem Quadrate der Stromstärke zunehmen werde. Die übereinstimmendsten Versuche, wenigstens mit solchen Hufeisen, welche mit dicken papierenen geschichteten Stücken von weichem Eisen geschlossen wurden, lassen jedoch vermuthen, dass diese Zunahme nur im geringsten Verhältnisse der Stromstärke steht.

1. Der electricische Strom bietet das wirksamste Hilfsmittel an, um die Ablatzen magnetisch zu machen. Es genügt, dieselben

durch eine electrische Drahtrolle zu schieben, um den na Gleichgewichtszustand ihrer magnetischen Kräfte anger und bleibend zu stören. Um den Magnetismus des gehärtete so vollständig zu entwickeln, als es seine Coercitivkraft g ist es nicht sowohl erforderlich eine recht grosse Anzahl windungen und einen Electromotor von entsprechendem l zur Verfügung zu haben, als vielmehr eine intensive Strc gegen jeden einzelnen Punct der Stahlstange zu richten. darf hierzu, wie Elias (Pogg. Ann. 62. 250) zuerst gez nur einer mässigen Anzahl Umwindungen eines 4—5 mmu Kupferdrahts, die zu einem ganz schmalen aber hohen R ordnet werden. Anstatt des Drahts kann man auch und noch mit grösserer Bequemlichkeit einen Kupferstreifen chen der 1 Mmtre dick, 20 Mmtre breit und lang genu, etwa 40 Windungen übereinander daraus bilden zu könn Windung ist von der andern durch geleimtes Papier getr Electricitätsquelle nimmt man 1 — 4 Kohlen-Zink-Elemente neben einander zu einem einzigen Paare verbunden we zersetzende Kraft dieses Apparates ist so gross, dass ei stange von 2—3 Fuss Länge und 2 Zoll Breite, die man zweimal ihrer ganzen Länge nach durch die Höhlung de hin- und wieder zurückschiebt so magnetisch wird, als haupt zu werden vermag. Ein Hufeisenmagnet mit vor Anker gewinnt durch einmaliges Durchziehen das Maximum Kraft; gleichwohl kann durch Umkehrung der Ströme seine Polarität fast augenblicklich ebenfalls umgekehrt Diese Magnetisirungsmethode hat vor dem Streichen noch den Vorzug, dass dabei keine Zwischenpole können.

442. Electromagnetische Umdrehungen. Die bare wechselseitige Einwirkung des electrischen Stroms Magnetpols äussert sich, wie wir gesehen haben, weder ziehung noch als Abstossung, sondern als ein Druck t gegen die durch Stromesrichtung und Pol gelegte Ebene Druck bleibt bei unverändertem Abstände immer ders auch rings um einen geradlinigten Strom herum der M oder rings um einen isolirten Pol der geradlinigte Strom finden mag. Es ist daher vorauszusehen, dass ein freier pol einen feststehenden Stromleiter, und dass umgekehrt e beweglicher Stromleiter einen unbeweglichen Pol umkreis In der That kam man zu dieser Folgerung bald nach deckung des Electromagnetismus. Es ist zuerst Farada gen, dieselbe durch ein Experiment zu rechtfertigen. Die such, einmal gegeben, wurde dann bald auf das mannich abgeändert. Einige derartige Verrichtungen mögen hier e finden.

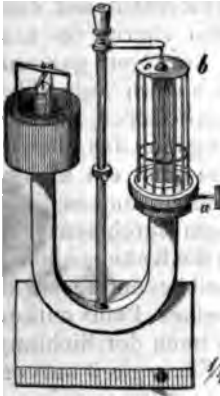
ng eines Magnets um den Strom. Ein weites mit Quecksilber gefüllt. Ueber der Mitte desselben er- 2—3 Linien dicker gerader Kupferdraht, der eine die Flüssigkeit eintaucht und dessen oberes Ende in Bindung mit dem einen Pole eines kräftigen galvanischen Elementes gesetzt werden kann. Von dem andern Pole führt die Verbindung zu einem Ringe von Kupferblech, der auf dem Draht sitzt und dessen unterer Rand ringsum das Quecksilber berührt. Zwischen Ring und Draht schwimmt ein kleiner Stahldraht, der mittelst eines an seinem untern Ende befestigten Stückes Platindraht von gleichem Durchmesser in der Stellung erhalten wird. So wie man die Kette schliesst, so wird der Magnet den Draht zu umkreisen, weil bei der Beschleunigung der Strom nur auf einen seiner Pole wirken kann. Die Richtung der Bewegung lässt sich je nach der Richtung der Stromleitung und der Beschaffenheit des aus der Flüssigkeit hervorstehenden Magnetpols leicht übersehen.

92.



Bewegung des electricischen Stroms um einen Magneten. In der Mitte eines Cylinders von festem und dichtem Holze (Fig. 92) ist ein Näpfchen von hartem Eisen eingelassen, in welchem der um seinen Schwerpunkt leicht bewegliche Kupferdraht *ab* auf stählerner Spitze ruht. Ringsum in 2—3 Zoll Abstand befindet sich eine in das Holz eingeschnittene Rinne, die so weit mit Quecksilber angefüllt wird, dass das schneidige Ende des bei *b* rechtwinklig umgebognen Drahts eben in die Quecksilberfläche eingeht. Von den Drähten *s* und *s'* führt der eine zur Rinne, der andere zu dem eisernen Näpfchen; die Verbindung mit einem constanten galvanischen Elementen. Wird nun dieser Apparat über oder unter dem andern Pol eines Magnets gestellt, und schliesst man die Kette, so dreht sich der bewegliche Draht um seine Achse. Gelingt jedoch dieser Versuch nur dann, wenn die Rinne des Quecksilbers in der Rinne frei von Schmutz und wenn das Näpfchen inwendig verzinkt ist. Denn ohne die nöthige Vorsicht wird die Stahlspitze von dem in das Näpfchen gebrachten Quecksilbertropfen nicht hinlänglich umgebrennt daher gleich beim ersten Durchgange des Drahts genügender Beweglichkeit des Drahts, rotirt derselbe ohne Beihülfe eines künstlichen Magnets, schon unter dem Einflusse des senkrechten Theils der erdmagnetischen

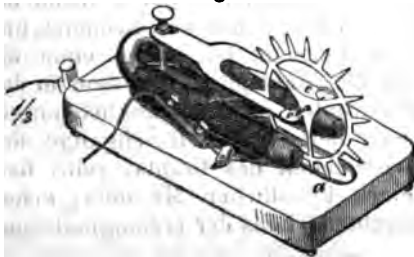
Der in Fig. 193 abgebildete Apparat ist eigentlich eine Abänderung des vorhergehenden. Die Scheibe *a* in der die Rinne angebracht schliesst den einen Schenkel eines stehenden Hufeisenmagnets und lässt denselben auf- und niederrücken. einer Schraube wird sie so festgemacht mehrere dünne von einer Kupferscheibe abgehende Metallstäbe eben das Quecksilber in der Rinne berühren. In der Mitte der Scheibe, an ihrer unteren Fläche ist eine Spitze eingeschraubt, die in eine Vertiefung auf der Oberfläche des Magnets und um welche die Scheibe sammt den befestigten Stäben sich im Gleichgewicht halten. Oben trägt die bewegliche Kupferscheibe ein Quecksilbernäpfchen *c*, in das die Leitungsdraht *cd* eingesenkt wird. So wie man nun den einen Daniell'schen Paars mit diesem Näpfchen, den andern Quecksilber-Rinne verbindet, beginnt die Bewegung des Magnetpol.



Dieselbe Figur zeigt noch eine andere recht belehrende Vorrichtung. Zwei Cylinder von Kupferblech von ungleicher Höhe, concentrisch gerichtet und mittelst einer ringförmigen Bodenplatte verbunden, bilden eine Art Trog, in welchem verdünnte Schwefelsäure gebracht und ein amalgamirter Zinkcylinder eingesenkt wird. Zink und Kupfer umgeben, wie der Zeichnung sieht, den einen Pol eines Hufeisenmagnets, an dessen Rahmen von Kupferdraht, welche sich auf Stützen ruhen. Die andere Seite des Kupfertrogs ruht unmittelbar auf der Fläche des Magnets und trägt oberhalb ihres Rahmens ein kleines verzinnertes Näpfchen von gehärtetem Eisen, in das die Spitze des andern Rahmens eingeeht. Es entwickelt sich ein elektrischer Strom, der von dem Zink durch die Flüssigkeit zu dem Kupfer fließt, an dem inneren Rahmen aufwärts steigt, an dem äußeren wieder herabgeht und so wieder zu dem Zinke gelangt und so wieder.

Die beiden auf Spitzes endenden Cylinder werden durch genöthigt, in entgegengesetzten Richtungen zu umherzuwandern. z. B. der positive Kupfercylinder dreht sich nach rechts, der negative Zinkcylinder nach links.

Fig. 194.



Die Figur 194 ist

at vor, in welchem ein Stromleiter durch die gleichzeitige Ein-
ng beider Pole eines Hufeisenmagnets in Bewegung gesetzt
Er ist bekannt unter dem Namen des Barlow'schen Räd-
. Der Magnet kann aus Stahl verfertigt seyn oder wie es hier
ommen ist aus weichem Eisen bestehen und durch eine genü-
Anzahl Umwindungen des Leitungsdrahtes erst magnetisch
cht werden. Das eine Ende dieses Drahts führt zu einem
den beiden Polen in die Holzunterlage eingeschnittenen
chen Troge *a* der mit Quecksilber angefüllt wird, das andere
in Verbindung mit einem constanten electricischen Paare, von
n anderer Seite ein Leitungsdraht zu dem gabelförmigen
streifen *bce* geht. An beiden Enden der Gabel bei *c* und *e*
ertiefungen angebracht, gross genug um einige Tropfen
silber aufnehmen zu können. Die Axe des Rädchens ruht in
nitten, welche sich am Rande dieser kleinen Quecksilber-
r befinden. So kann der Strom zu der Axe und den Spei-
es Rädchens gelangen und von diesen weiter zu den Zinken
hen, von welchen immer eine oder zwei in das flüssige
les Trogs eintauchen und dadurch die Kette schliessen. Jede
durch welche der Strom geht, wird gleichzeitig von beiden
polen fortgestossen und so eine regelmässige Umdrehung
dchens um seine Axe bewirkt. Die stossende Kraft steht
ammengesetzten Verhältnisse der magnetischen Kraft der
nd der des Stromleiters; sie muss folglich proportional mit
adrate der Stromstärke zunehmen.

isbewegung durch Stromwechsel. Wenn zwischen
beiden Polen eines aufrecht stehenden
Hufeisenmagnets Fig. 195, ein gerader
Electromagnet, um eine vertikale Axe
leicht beweglich, aufgestellt ist, so wer-
den die Pole des letzteren von denen des
ersteren je nach der Richtung des durch
die Windungen laufenden Stroms ange-
zogen oder abgestossen. Gesetzt nun
es finde zuerst Anziehung statt, und es
lasse sich dahin bringen, im Augenblicke
da die grösste Annäherung erreicht und
in Folge der erlangten Geschwindigkeit
eben überschritten worden ist, die Rich-
tung des Stroms in den Windungen und
folglich auch die daraus hervorgehende
t plötzlich umzukehren, so muss Anziehung mit Abstossung
In und der Electromagnet muss bei fortdauernder derartiger
ung eine rotirende Bewegung annehmen. Die Lösung die-
gabe ist zuerst dem Engländer Ritchie auf folgende Art
n: Unter dem beweglichen Magnete befindet sich ein ring-

Fig. 195.



förmiger Quecksilberbehälter aus Holz, der in der Richtung einen zum andern Schenkel des Hufeisens (von a nach b eine Holzwand in zwei Abtheilungen ohne leitenden Uebergang geschieden ist*). Die eine lässt sich mit der positiven, die andere mit der negativen Seite eines constanten Paares in Verbindung setzen. Beide werden mit Quecksilber so weit gefüllt, dass sie etwas über den Rand der Scheidewand erhebt, ohne jedoch einen Abtheilung zur andern überfliessen zu können. Die Enden der Windungen des Electromagnets herabhängenden Drahtköpfe können auf diese Weise mit dem Quecksilber in Berührung kommen, ohne doch an die Scheidewand zu streifen. Es ist leicht zu sehen, dass der Strom, je nach der Stellung des Eisenstabs, abwechselnd in das eine Drahtende und in das andere Umdrehung in das andere eindringen und dadurch im rechten Augenblicke den Wechsel der Pole bewirken.

Der feststehende Magnet darf ebenfalls ein Electromagnet sein. Die bewegende Kraft wächst dann bei zunehmender Stromstärke mit dem Quadrate derselben und, wenn auch die Windungen und beide Eisenstücke gleichmässig vermehrt werden, überdies noch mit dem Quadrate der Anzahl Umwindungen. Die Triebkraft auf diese Weise erzielt werden kann, scheint demnach ohne Zweifel zu seyn. Jakobi hat jedoch gezeigt, dass wenn eine Kraft dem Quadrate der Windungen proportionirt ist, auch die unter ihrem Impulse zurückgelegte Weg im umgekehrten Verhältnisse zum Quadrate der Windungen steht, dergestalt dass die Anzahl Windungen in Betreff des mechanischen Effectes gewonnen werden kann.

Die Möglichkeit unter dem Einflusse eines feststehenden Electromagnets eine regelmässig fortdauernde Umdrehung beweglichen Electromagnets zu bewirken, hat den Gedanken geweckt, den Electromagnetismus als Betriebskraft einer Maschine zu benutzen. Es scheint, dass Jakobi, damals in Königsberg, Wagner in Frankfurt fast gleichzeitig oder doch ohne sich zu wissen, diese Idee auffassten und dieselbe zu verfolgen sich bemühten. Bald wurden indessen ihre Bestrebungen und erregten während einiger Zeit die allgemeinste Aufmerksamkeit. Die ausserordentlich grosse und wie es den Anschein fast unbegränzte Kraft, welche dem Eisen mit Hilfe statischer Ströme ertheilt werden kann, spannte die Erwartung aufs höchste und schien in der That die glänzendsten Hoffnungen rechtfertigen zu müssen. Selbst Männer der Wissenschaften

*) In der Figur erscheinen sternförmig geordnet noch andere Metall durchschneidende Holzwände; sie gehen jedoch nicht bis an den Behälter und unterbrechen folglich nicht den Zusammenhang des Inhaltes. Sie sind überdiess unwesentlich und dürften weggelassen werden.

rch geblendet und vergassen oder übersahen, dass nach seinen Gesetzen der Mechanik die Wirkung nicht von der Kraft, sondern von dem Verbräuche abhängt, der hier der Instanz auf der Menge aufgelösten Zinkes beruht. Ja- (Pogg. Ann. B. 51. S. 364) erwarb sich das Verdienst die den des möglichen Effectes electromagnetischer Maschinen stellen, und hat hierdurch bewiesen, dass der Electromagnetismus als Betriebskraft denselben Bedingungen wie andere benutzte Kräfte unterliegt. Jakobi hat übrigens eine electromagnetische Maschine erbaut die $\frac{3}{4}$ — 1 Pferdekraft ausübte und dadurch die Ausführbarkeit des Gedankens ausser Zweifel gestellt. Nützliche Anwendung für die Gewerbe scheiderte nur an der grossen Kostbarkeit der neuen Kraft. Dass der Erfolg kein anderer seyn konnte begreift man, wenn man erwägt, dass zur unermännlichen Gewinnung des metallischen Zinks ein Aufwand allein an Brennmaterial erfordert wird, der in Wärme verwandelt zum Betriebe einer Dampfmaschine verwendet, einen Effect wenigstens von gleicher Grösse, als durch Auflösung, Verbrennung des Zinks in der electrischen Kette denkbarer erzielt werden kann.

13. Electro-magnetische Telegraphie. Der electrische Strom in Folge seiner merkwürdigen Eigenschaft, gewisse Wirkungen durch sehr lange Leiter mit einer Geschwindigkeit fortzuführen zu können, die selbst diejenige des Lichtstrahls übertrifft, ist das wichtigste Hilfsmittel der telegraphischen Mittheilung geworden. Schon vor beinahe 40 Jahren hat Sömmering *) die chemische Wasserzersetzung hierzu vorgeschlagen. Bei der grossen Schwierigkeit auf diesem Wege zusammengesetzte Mittheilungen zu machen, blieb diese Idee im Grossen unausgeführt und fast in Vergessenheit. Lange Zeit nachher, erst im Jahre 1833 gelang es Gauss und Weber durch glückliche Benützung der magnetischen Wirkungen des Stroms die Möglichkeit der Mittheilungsweise zur unzweifelhaften Thatsache zu machen. Parallel laufende isolirte Kupferdrähte wurden aus dem physikalischen Kabinet in Göttingen nach der ungefähr $\frac{1}{4}$ Meile entfernten Sternwarte geleitet und konnten an jedem dieser Endpunkte durch einen Multiplicatordrahte eines Magnetometers so wie mit einem beliebigen electromotorischen Apparate verbunden werden. Je nach der Richtung welche man dem Strome gab, konnte nun die an jedem Endpunkte befindliche Magnetometernadel willkürlich nach rechts oder links bewegt werden und hierdurch war ein Mittel gefunden zwei verschiedene Zeichen hervorzubringen, durch deren Combination eine für die Telegraphirung genügende Anzahl Signale gewonnen werden konnte. Wirklich wurde diese

Kette gleich von Anfang an oft zu telegraphischer nutzt, nicht bloss zu einfachen, um täglich die Uhren zu sondern versuchsweise auch zu zusammengesetzte und ganze Phrasen zu signalisiren*). Wenn also mit Recht als der Erfinder der electromagnetischer betrachtet werden muss, so verdankt man doch Weber die erste Anlage einer Telegraphenlinie. Dieser siger Gebrauch bei der beschriebenen Anordnung v die unausgesetzte Aufmerksamkeit der Beobachter genommen haben. Dieser Unbequemlichkeit suchte S einer schon ausgedehnteren Anlage, welche er in 1837 führte, dadurch abzubelfen, dass er zwei mit ungleichschlagende Glocken neben der Magnetnadel anbrach jeder Seite derselben. Eine jede Ablenkung der Nadel durch einen bald höheren bald tieferen Ton angezeigt liess sich die Richtung derselben beurtheilen. Durch einen Zusatz zu diesem Apparat ist es nicht einmal nothwendig Beobachter während des Spiels des Telegraphen zu, dem die Signale durch eine Maschinerie des Apparats gezeichnet werden. Es ist nämlich dicht unter jeder beiden Glocken ein kleiner Winkelhebel angebracht, dass der eine aufwärts gebogene Arm desselben gleichzeitig mit der Glocke von der Magnetstange bewegt, der andere horizontale Arm drückt dann eine besondere Arm gegen ein, von einem Uhrwerk in langsamer Bewegung Papier, auf welchem hierdurch ein Punct aufgetragen, dessen Zeichenstifte sind nahe bei einander in einer gegen die Bewegung des Papiers winkelrechten Linie aus von denselben aufgetragenen Puncte werden folglich mit einander parallelen Linien geordnet, dergestalt, dass die graphischen Signale welche gegeben werden sollen einem Blicke erkennen lassen. Eine andere von Siemens gegebene höchst bemerkenswerthe Veränderung in dem Telegraphen besteht darin, dass er an der Stelle der beiden Leitungsdrähte die Leitfähigkeit der Erde benutzte. Er hat nämlich gezeigt, dass so wenig leitende Schichten auch sind, sie gleichwohl wie die metallenen zur Fortpflanzung des Stroms verwendet werden können, man sie nur mit einer hinreichend grossen und mit der zusammenhängenden Metallplatte in Berührung setzt. Verschiedenen Anordnungen und Verbesserungen verschiedener Art, Signale auch auf beträchtliche Entfernungen hin zu können, festgestellt, die Handhabung des Apparats

*) Result. a. d. Beobacht. des magnet. Vereins im J. 1837. S.

bequem geworden, dem täglichen und regelmässigen Ge-
schehe stand kein eigentliches Hinderniss mehr im Wege.

Fast gleichzeitig mit Steinheil haben auch mehrere auslän-
dische Gelehrte die Erfindung der Göttinger Naturforscher weiter
zubilden gesucht. Der Amerikaner Morse ersetzte die Magnet-
nadel durch einen Electromagneten der, je nachdem er unter dem
Einfluss eines electrischen Stroms magnetisch gemacht wurde,
durch Unterbrechung des Stroms seinen Magnetismus wieder
verlor, die Fähigkeit erhielt, eine Platte von weichem Eisen an-
zuziehen und wieder fallen zu lassen. Vorsselman n de Heer
von Deventer glaubte in den physiologischen Wirkungen des Stroms
ein noch geeigneteres Mittel für die telegraphische Signalisirung
über weite Entfernungen hin gefunden zu haben und hat nach die-
sem Grundsätze einen Telegraphen von eigenthümlicher Einrich-
tung ausführen lassen. Seine Vorschläge scheinen bis jetzt keinen
gemeineren Beifall gewonnen zu haben. Die meisten Verdienste
an der Vereinfachung des electro-magnetischen Telegraphen und
an seinem Gebrauch im ausgedehntesten Maassstabe hat sich in

Beschreibung des Telegraphen:

1. Electromagnet in Hufeisenform.
2. Hebel, welcher um die Axe $u u'$ beweglich ist.
3. Stab aus weichem Eisen, der an dem Hebel B befestigt ist und mittelst desselben den Polen des Magneten genähert oder auch davon entfernt werden kann.
4. Feder zum schnellen Abdrücken des Hebels von den Magnetpolen, so oft die magnetische Kraft derselben verschwindet. Der Hebel ist übrigens so gestellt, dass der daran hängende Anker C mit den Polen niemals in völlige Berührung kommen kann.
5. Stäbe, die mit dem Hebel durch ein Gelenke bei F verbunden sind und in Folge der oscillirenden Bewegung des Hebels das Sperrrad G fort-

-schleiben, zugleich aber auch vermöge der Art ihres Eingriffs in des Sperrrads eine rückwärtsgehende Bewegung desselben vor-

H. Feder, die zum Zusammenziehen der Stäbe dient.

W. Zeigeraxe. Sie trägt das Sperrrad und zugleich den Zeiger *W'*; mit dem Sperrrad, ähnlich wie der Zeiger einer Uhr gedreht geht vor den auf der Scheibe *LL* im Kreise herum angebrachte z. B. den Buchstaben des Alphabets vorüber, und bleibt vor ebigen derselben stehen, so wie man den Hebel *D* zum Stillstand

RR. Zeichenscheibe. Die Zeichen sind am Rande derselben genau in nung aufgetragen wie auf dem Zeigerblatte *LL*. Sie ruht in v Lage auf drei Füßen.

NN. Die Wechselscheibe ist concentrisch mit der vorhergehenden, tiefer angebracht, und lässt sich mittelst der Handhabe *RO* um rechte Axe *O* bewegen. Ihr äusserer Rand ist, ähnlich wie die Ness'schen Blitzrades zackig ausgeschnitten und die dadurch den Lücken sind mit dichtem Holze ausgefüllt.

p. Metallfeder, die an einem Fusse der Zeichenscheibe befestigt gegen den Rand der Wechselscheibe drückt. Sie steht mit ein draht in Verbindung, der zu dem Electromagnet der andern Station. Ein ähnlicher Kupferdraht geht von der Wechselscheibe zu dem motorischen Apparate und von da weiter ebenfalls zu der andern. Einer dieser Leitungsdrähte kann, wie Steinheil zuerst vorgeschlagen durch den Erdboden ersetzt werden. Wird nun die Wechselscheibe mittelst ihrer Handhabe in Bewegung gesetzt, so drückt die Feder auf Metall, bald auf Holz; dadurch wird die Kette abwechselnd geschlossen und wieder geöffnet, der Electromagnet thätig und unthätig. Der Hebel *B* beginnt zu oscilliren und dadurch *S* und Zeiger fortzuschleiben.

Es ist nun einleuchtend, dass wenn die Handhabe *RO* und der Zeiger anfangs auf dasselbe Zeichen eingestellt waren, letzterer auch gleich mit dem ersteren fortrückt und dass endlich, wenn man die Handhabe auf einem Zeichen stehen lässt, der Zeiger auf eben demselben stehen bleibt.

Ein wichtiger Bestandtheil des Telegraphen ist das Lärmsignal, dessen Bestimmung hat, den Beobachter an der andern Station aufmerksam zu machen. Die Einrichtung dieses Zubehörs ist übrigens einfach und im Wesentlichen eines Weckers.

J stellt ein Zahnrad vor, hinter welchem, und damit zusammenhängend die Trommel zur Aufnahme einer starken Uhrfeder befindet;

K ein Getriebe, welches in die Zähne des Rades *J* eingreift;

L ein Sperrrad, das mit dem Getriebe *K* fest verbunden ist. Bei demselben einen Stift, der sich auf einen vorstehenden Ansatz des Rades und dadurch, so lange letzterer in Ruhe bleibt, eine Bewegung des Rades verhindert. So wie aber der Hebel durch das Schliesse angezogen wird, gleitet der Ansatz unter dem Stifte *a* wie ein Schlagwerk setzt sich in Bewegung, bis man es durch Vorschieben der Schubstange *M* unter das Stift *b* wieder zur Ruhe bringt.

Herr Dreacher hat den Zeiger-Telegraphen noch neuerdings vereinfacht und die Beweglichkeit seines Triebwerks auf überraschend vervollkommenet. Die Brauchbarkeit desselben, um Signale auf weite Entfernungen hin zu geben, ist dadurch bedeutend erhöht worden. Das Derselben Veränderungen ist jedoch bis jetzt Geheimniss geblieben.

Soll ein electromagnetischer Telegraph für die Berechnung der weiten Entfernungen hin eingerichtet werden, so ist die Berechnung der Dicke des Leitungsdrahts eine höchst wichtige Frage. Auf die Drahtdicke ist von Einfluss: die Stromstärke, die erforderlich wird, um das Triebwerk in regelmässiger Bewegung zu setzen.

en, also der Grad der Beweglichkeit des letzteren, ferner die Offenheit und Anzahl galvanischer Paare welche verwendet werden können, und endlich die Drahtlänge. Angenommen man habe die Prüfung mit einer guten Tangentenbusssole gefunden, dass in dem gegebenen Instrumente, zur Erhaltung eines sicheren und mässigen Ganges, die dem Ablenkungswinkel α entsprechende Stärke erfordert werde. Die Drahtlänge sey L ; der Leitungswiderstand für die Längeneinheit, bei dem Querschnitte f sey gleich bei dem Querschnitte $F = \frac{Lrf}{F}$ *); es sey ferner K die

eines electromotorischen Paares, ρ der Leitungswiderstand desselben, n die Anzahl der Paare, so ist nach dem schon Gesetze $\operatorname{tg} \alpha = \frac{nK}{n\rho + \frac{Lrf}{F}}$; daher der gesuchte

Querschnitt des Drahtes: $F = \frac{Lrf \operatorname{tg} \alpha}{n(K - \rho \operatorname{tg} \alpha)}$.

Diese Gleichung lehrt, dass der Draht in demselben Verhältniss dünner genommen werden kann, als man die zum Betriebe nöthige Anzahl galvanischer Paare vermehrt; noch mehr kommt es auf den leichten Gang des Triebwerks an; ein Umstand der mehr Berücksichtigung verdient, weil der Gebrauch einer grossen Anzahl Paare unbequem und kostspielig ist.

4. Die Grundgesetze des Electromagnetismus sind bald nach Entdeckung desselben durch die Bemühungen mehrerer Naturforscher, hauptsächlich aber durch scharfsinnige Untersuchungen Ampère's erkannt und experimentell begründet worden. Auswurde im Verfolge dieser Arbeiten zu einer Theorie des Electromagnetismus geleitet, die von der gewöhnlicheren Vorstellung des wirklichen Vorhandenseyns zweier magnetischer Flüssigkeiten wesentlich abweicht. Anstatt nämlich den freien Magnetismus des Eisens als eine Folge zu betrachten der Scheidung in Innern eines jeden Atoms vorhandenen neutralen magnetischen Fluidums in seine zwei Bestandtheile, wird derselbe von diesen Strömen abgeleitet, die sich ohne Aufhören um jedes Theilchen bewegen. Je zwei Theilchen dieser Elementarströme, mögen sie nun einander anziehen oder abstossen, wirken in der Richtung der geraden Linie welche sie verbindet. Die Stärke der wechselseitigen Einwirkung steht im zusammengesetzten Verhältnisse ihrer Länge und Stromstärke **), im verkehr-

Der Leitungswiderstand r sey z. B. in Regulatorwindungen ausgedrückt, f den Querschnitt des Regulatordrahts. Auf denselben Regulatorbezieht sich dann auch der Zahlenausdruck von K und ρ . Die Stromstärke ist hier nach der Electricitätsmenge zu schätzen, welche in der Zeiteinheit durch den Querschnitt fliesst.

ten zum Quadrate ihres Abstandes und ist ausserdem noch den Richtungen beider Stromtheilchen gegen einander und ihre Verbindungslinie abhängig. Je zwei parallele Stromtheilchen die in gleichem Sinne laufen, ziehen sich an; sie stossen sich aber ab, wenn die Richtungen ihrer Bewegung entgegen sind. Die magnetische Polarität der Atome des Eisens ist nach von ganz ähnlicher Natur wie die eines Kreisstromes, d. h. jeder solcher Elementar-Kreisstrom äussert nach der linken Seite seiner Richtung (beziehungsweise auf den Mittelpunkt) das Verhalten eines positiven, nach der rechten das eines negativen Magnetpols.

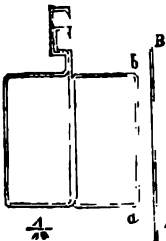
Die Wirkung des Magnetisirens würde dieser Ansicht gemäss darin bestehen, den Elementarströmen, die im natürlichen Zustande die mannichfaltigsten Richtungen haben, eine gleichlaufende Richtung zu ertheilen, dergestalt, dass sie sich in ihrer Wirksamkeit nach Aussen wechselseitig unterstützen und sich ähnlich wie die Elemente des schraubenförmig gewundenen Stroms zu einer Reihe auf einander folgender Kreisströme ergänzen. Im Sinne der Ampère'schen Theorie ist auch die erdmagnetische Kraft eine Folge paralleler electricischer Ströme, welche in der Richtung von Ost nach West die Erde umkreisen.

Will man diese Hypothese als die wahre Grundlage der Erscheinungen, zu deren Erklärung sie aufgestellt ist, nicht gelten lassen, so muss man ihr doch immerhin den Werth eines vorzuziehenden, ja des bis jetzt einzig bekannten Hilfsmittels zugestehen, um die magnetischen, die electromagnetischen und die folgenden von Ampère entdeckten electrodynamischen Erscheinungen unter einen gemeinsamen Gesichtspunct zu bringen.

Electrodynamik.

445. Man versteht unter Electrodynamik und electrodynamischen Erscheinungen die Wirkungen electricischer Ströme auf einander.

Betrachten wir zunächst zwei geradlinigte Ströme die parallel neben einander hergehen. Man nähere einen geraden Kupferdraht, dessen Endpuncte mit den Polen einer galvanischen Kette verbunden sind, der einen oder andern senkrechten Seite des stationären Stromleiters (Fig. 197) und lasse durch den letzteren denselben oder auch einen anderen electricischen Strom gehen. Der bewegliche Draht ab wird sogleich von dem unbeweglichen AB angezogen oder abgestossen werden, je nachdem die sich begegnenden Ströme oder richtiger Stromstücke in gleichem oder in entgegen-

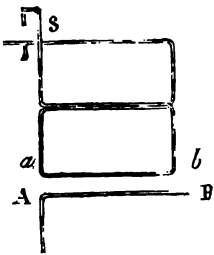


Sinne laufen. Im ersten Falle oscillirt das bewegliche durch die von seiner Axe und dem senkrechten Drahte bildete Ebene, im zweiten Falle sucht es eine zu dieser senkrechte Stellung zu behaupten. Hieraus folgt: dass gleiche Ströme einander anziehen, wenn sie sich in demselben Sinne bewegen, im umgekehrten Falle aber abstoßen. Die Anstellung des Versuchs erfordert übrigens elektrische Ströme, z. B. 4 Bunsen'sche Elemente zu gebrauchen geordnet und Drähte von entsprechender, wenigstens gleiche Dicke.

Wenn man in der Richtung der Linie AB zwei Drähte isolirt neben einander liegen und wenn der Strom durch den einen aufwärts, durch den andern wieder zurückgeht, so bemerkt man keine Einwirkung auf den beweglichen Leiter. Die Wirkungen gleicher, entgegengesetzter Stromlängen heben sich also bei gleicher Intensität wechselseitig auf.

Man stellt einen geradlinigten Draht AB unter der senkrechten Axe des in Fig. 198 abgebildeten astatischen Vierecks in wagenrechter Lage so an, dass die durch die Linien as und AB gebildete Ebene mit derjenigen des beweglichen Vierecks einen beliebigen Winkel bildet, und leitet

Fig. 198.



man den eindringenden Strom in der Weise, dass er sich in den beiden Drähten AB und ab entweder gegen den Scheitelpunct des Winkels, welchen sie einschliessen, bewegt oder sich in beiden von diesem Punkte entfernt, so dreht sich das bewegliche Viereck gegen die Ebene ABs und bleibt nach einer Reihe von Schwingungen in derselben stehen. Der

Draht AB dreht dann in den beiden Drähten AB und ab nach einerlei Richtung. Wechselt man diese Richtung in dem einen Drahte, so dreht sich der bewegliche Leiter abgestossen und beschreibt bei hinreichender Stärke der Ströme einen Bogen von 180° .

Man zieht aus diesen Versuchen die Folgerung: dass gleiche elektrische Ströme, welche in verschiedenen Richtungen nach demselben Punkte hinfließen, sich gleichzeitig von diesem Punkte entfernen, einander anziehen, wenn sie sich aber abstoßen, wenn sie sich der einen Seite eines Punktes hin bewegt, von dem sie der andern Seite entfernt.

Man stellt ab ein geradlinigter Strom, dessen Leitungsdraht um den Punkte a *) beweglich ist. Ein anderer Strom AB der an ab

über dem Punkte a liegenden Theile des Drahts, muss man sich nicht als durchflossenen denken, sie dienen nur, um dem unteren Theile des Drahts um den Punkte a ein Gegengewicht zu bilden.

ten zum Quadrate ihres Abstandes und ist ausserdem in den Richtungen beider Stromtheilchen gegen einander in ihre Verbindungslinie abhängig. Je zwei parallele Ströme die in gleichem Sinne laufen, ziehen sich an; sie stoßen aber ab, wenn die Richtungen ihrer Bewegung entgegengesetzt sind. Die magnetische Polarität der Atome des Eisens ist nach von ganz ähnlicher Natur wie die eines Kreisstroms; jeder solcher Elementar-Kreisstrom äussert nach der Linken seiner Richtung (beziehungsweise auf den Mittelpunkt) das Verhalten eines positiven, nach der Rechten das eines negativen Magnetpols.

Die Wirkung des Magnetisirens würde dieser Ansicht darin bestehen, den Elementarströmen, die im natürlichen Zustande die mannichfaltigsten Richtungen haben, eine gleichlaufende Richtung zu ertheilen, dergestalt, dass sie sich in ihrer Wirkung nach Aussen wechselseitig unterstützen und sich ähnlich den Elementen des schraubenförmig gewundenen Stroms in einer Reihe auf einander folgender Kreisströme ergänzen. Im Sinne Ampère'schen Theorie ist auch die erdmagnetische Kraft Folge paralleler electricischer Ströme, welche in der Richtung Ost nach West die Erde umkreisen.

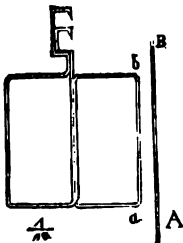
Will man diese Hypothese als die wahre Grundlage der Erscheinungen, zu deren Erklärung sie aufgestellt ist, nicht lassen, so muss man ihr doch immerhin den Werth eines Hilfsmittels, ja des bis jetzt einzig bekannten Hilfsmittels zugewenden, um die magnetischen, die electromagnetischen Erscheinungen von Ampère entdeckten electrodynamischen Erscheinungen unter einen gemeinsamen Gesichtspunkt zu

Electrodynamik.

445. Man versteht unter Electrodynamik und electrodynamischen Erscheinungen die Wirkungen electricischer Ströme auf einander.

Betrachten wir zunächst zwei geradlinigte Ströme die neben einander hergehen. Man nähere einen geraden Kupferdraht, dessen Endpunkte die Pole einer galvanischen Kette verbunden sind, einem anderen senkrechten Stromleiter (Fig. 197) und lasse den letzteren denselben oder auch einen anderen electricischen Strom gehen. Der bewegliche Leiter ab wird sogleich von dem unbeweglichen Leiter A angezogen oder abgestossen werden, je nachdem die sich begegnenden Ströme in gleichem oder in entgegengesetztem Sinne fließen.

Fig. 197.



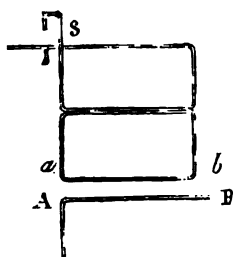
Man nähere einen geraden Kupferdraht, dessen Endpunkte die Pole einer galvanischen Kette verbunden sind, einem anderen senkrechten Stromleiter (Fig. 197) und lasse den letzteren denselben oder auch einen anderen electricischen Strom gehen. Der bewegliche Leiter ab wird sogleich von dem unbeweglichen Leiter A angezogen oder abgestossen werden, je nachdem die sich begegnenden Ströme in gleichem oder in entgegengesetztem Sinne fließen.

Sinne laufen. Im ersten Falle oscillirt das bewegliche durch die von seiner Axe und dem senkrechten Drahte bildete Ebene, im zweiten Falle sucht es eine zu dieser in der senkrechten Stellung zu behaupten. Hieraus folgt: dass die Ströme einander anziehen, wenn sie sich in demselben Sinne bewegen, im umgekehrten Falle aber abstossen. Die Anstellung des Versuchs erfordert übrigens elektrische Ströme, z. B. 4 Bunsen'sche Elemente zu gebrauchen geordnet und Drähte von entsprechender, wenigstens 1/2 Linien Dicke.

Man in der Richtung der Linie AB zwei Drähte isolirt nebeneinander liegen und wenn der Strom durch den einen aufwärts, durch den andern wieder zurückgeht, so bemerkt man keine Einwirkung auf den beweglichen Leiter. Die Wirkungen gleicher, entgegengesetzter Stromrichtungen heben sich also bei gleicher Intensität wechselseitig auf.

Man bringe ein geradlinigter Draht AB unter der senkrechten Axe in der in Fig. 198 abgebildeten astatischen Vierecks in waagrechter Lage so angebracht, dass die durch die Linien as und AB gebildete Ebene mit derjenigen des beweglichen Vierecks einen

Fig. 198.



beliebigen Winkel bildet, und leitet man den eindringenden Strom in der Weise, dass er sich in den beiden Drähten AB und ab entweder gegen den Scheitelpunct des Winkels, welchen sie einschliessen, bewegt oder sich in beiden von diesem Punkte entfernt, so dreht sich das bewegliche Viereck gegen die Ebene ABs und bleibt nach einer Reihe von Schwingungen in derselben stehen. Der

Strom geht dann in den beiden Drähten AB und ab nach einerlei Richtung. Wechselt man diese Richtung in dem einen Drahte, so wird der bewegliche Leiter abgestossen und beschreibe bei hinreichender Stärke der Ströme einen Bogen von 180° .

Man zieht aus diesen Versuchen die Folgerung: dass gleiche elektrische Ströme, welche in verschiedenen Richtungen nach demselben Punkte hinfließen, gleichzeitig sich davon entfernen, einander anziehen; dass sie sich aber abstossen, wenn sie der einen gegen einen Punkt hin bewegt, von dem sich der andere entfernt.

Man setze ab ein geradlinigter Strom, dessen Leitungsdraht um den Punkt a^* beweglich ist. Ein anderer Strom AB der an ab

über dem Punkte a liegenden Theile des Drahts, muss man sich nicht als durchflossenen denken, sie dienen nur, um dem unteren Theile des Drahtes um den Punkt a ein Gegengewicht zu bilden.

ten zum Quadrate ihres Abstandes und ist ausserdem in den Richtungen beider Stromtheilchen gegen einander um ihre Verbindungslinie abhängig. Je zwei parallele Ströme die in gleichem Sinne laufen, ziehen sich an; sie stoss aber ab, wenn die Richtungen ihrer Bewegung entgegen sind. Die magnetische Polarität der Atome des Eisens ist nach von ganz ähnlicher Natur wie die eines Kreisstroms jeder solcher Elementar-Kreisstrom äussert nach der linken seiner Richtung (beziehungsweise auf den Mittelpunct) das Verhalten eines positiven, nach der rechten das eines negativen Magnetpols.

Die Wirkung des Magnetisirens würde dieser Ansicht darin bestehen, den Elementarströmen, die im natürlichen Zustande die mannichfaltigsten Richtungen haben, eine gleichlaufende Richtung zu ertheilen, dergestalt, dass sie sich in ihrer Wirkung nach Aussen wechselseitig unterstützen und sich ähnlich wie die Elemente des schraubenförmig gewundenen Stroms zu einer Reihe auf einander folgender Kreisströme ergänzen. In der Ampère'schen Theorie ist auch die erdmagnetische Kraft die Folge paralleler electricischer Ströme, welche in der Richtung Ost nach West die Erde umkreisen.

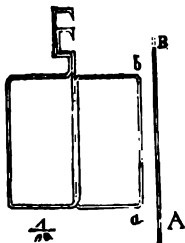
Will man diese Hypothese als die wahre Grundlage der Erscheinungen, zu deren Erklärung sie aufgestellt ist, nicht lassen, so muss man ihr doch immerhin den Werth eines Hilfsmittels zugestehen, ja des bis jetzt einzig bekannten Hilfsmittels, um die magnetischen, die electromagnetischen Erscheinungen von Ampère entdeckten electrodynamischen Erscheinungen unter einen gemeinsamen Gesichtspunct zu bringen.

Electrodynamik.

445. Man versteht unter Electrodynamik und electrodynamischen Erscheinungen die Wirkungen electricischer Ströme auf einander.

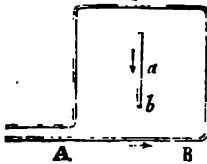
Betrachten wir zunächst zwei geradlinigte Ströme die

Fig. 197.



neben einander hergehen. Man nähere einen geraden Kupferdraht, dessen Endpunkte die Pole einer galvanischen Kette verbunden sind, an die senkrechten Seite des U-förmigen Stromleiters (Fig. 197) und lasse denselben oder auch einen anderen electrischen Strom gehen. Der bewegliche Draht ab wird sogleich von dem unbeweglichen Draht cd angezogen oder abgestossen werden, je nachdem die sich begegnenden Ströme oder die Stromstücke in gleichem oder in entgegen-

Fig. 199.



vorübergeht oder denselben, so wie es Fig. 199 andeutet, rings umgibt, muss ihn bei genügender Stärke der Einwirkung in eine rotirende Bewegung versetzen, und zwar muss sich der Punkt b im Sinne der durch die Pfeile angedeuteten Stromsrichtung von der Rechten zur Linken drehen. Die Möglichkeit einer solchen Kreisbewegung ergibt sich aus dem vorhergehenden Erfahrungsgesetze als eine nothwendige Folge. Der Versuch ist mit Hilfe des in Fig. 192 abgebildeten Apparates leicht ausführbar. Statt nämlich einen Magnetpol über oder unter den beweglichen Draht zu halten, umgibt man denselben mit einem Gewinde von dickem Drahte und lässt einen kräftigen Strom zu gleicher Zeit durch dieses Gewinde und durch den beweglichen Draht gehen.

Nach der Ampère'schen Hypothese beruht die durch einen Magnetpol (Fig. 192) oder die durch den Erdmagnetismus bewirkte Rotation auf einer wechselseitigen Einwirkung von ganz ähnlicher Natur wie die so eben beschriebene.

Die Wirkungen eines Stroms der in geschlängelter Bahn nach einer gewissen Hauptrichtung fortschreitet, sind denen eines geradlinigten von gleicher Hauptrichtung gleich, denn sie werden durch diejenigen eines geradlinigten und entgegengesetzt gerichteten Stromes vollständig aufgehoben. Hieraus geht hervor, dass die Stärke der wechselseitigen Einwirkung zweier Stromtheile, bei unverändertem Abstände wesentlich von ihrer gegenseitigen Lage abhängig ist und dass dieselbe bei gewissen Stellungen sogar Null werden muss.

446. Aus dem Verhalten geradlinigter paralleler Ströme muss

Fig. 200.



man schliessen, dass je zwei Stromelemente rs und ur (Fig. 200) die einander parallel gegenüber und auf ihrer Verbindungslinie rechtwinklig stehen, sich anziehen, wenn sie nach gleicher Richtung fortschreiten, aber sich abstossen, wenn die Richtungen ihrer Bewegungen entgegengesetzt sind. Ferner ergibt sich aus dem Verhalten geradlinigter Ströme die einen Winkel bilden die nothwendige Folge: dass zwei Stromelemente, deren Verbindungslinie und verlängerte Richtungen ein Dreieck einschliessen, sich anziehen, wenn sie sich beide gegen den Scheitelpunct des Winkels bewegen oder beide sich davon entfernen, dass aber Abstossung erfolgt, wenn nur das eine gegen den Scheitelpunct geht, das andere sich davon entfernt. Angenommen nun das Element ur mache eine halbe Umdrehung um seinen Mittelpunct, so geht die gegen rs ausgeübte Anziehung in Abstossung

oder umgekehrt. Zwischen beiden Lagen muss es eine dritte geben, in welcher weder Anziehung noch Abstoßung erfolgt. Diese kann nun keine andere seyn als die Lage uv' , in welcher die Richtungen des einen Elementes auf der Mitte des andern senkrecht steht. Bei jeder anderen Stellung des Elementes uv gegenüber von rs bilden beider Richtungen die Seiten eines Winkels. Beide müssen sich daher je nach der Art ihrer Bewegung anziehen oder abstossen. Der Winkel den sie bilden sey α , so kann man sich vorstellen, dass das Element uv beziehungsweise seiner Wirksamkeit aus zwei Theilen: $uv \cos \alpha$ und $uv \sin \alpha$ besteht, von welchen der erstere, der wirksame Theil mit rs parallel laufend ist, der andere, der unwirksame auf rs senkrecht steht. Man sieht nun leicht dass die Grösse der wechselseitigen Wirkung zweier Stromtheile um so geringer ausfallen muss, je mehr sie sich von der Parallellage abweichend, sich der Gränze der unwirksamen Stellung nähert.

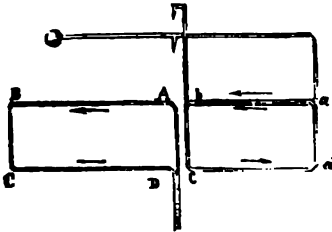
Fig. 201.



Wenn von zweien Stromelementen rs und uv Fig. 201, die in der Ebene in Wechselwirkung treten, weder das eine noch das andere auf der sie verbindenden geraden Linie senkrecht steht; so denke man sich rs in die Seitenkräfte st und rt , zerlegt, uv in die Seitenkräfte vw und uw zerlegt. Hierdurch entstehen vier Kräfte, welche je paarweise eine Einwirkung auf einander ausüben können; ts und wv , da sie parallel laufen, müssen anziehen oder abstossen; zwischen rt und wv , und ebenso zwischen ts und wu , welche senkrecht auf einander stehen, kann keine Wirkung statt finden. Aus den vorhergehenden Untersuchungen geht jedoch nicht bestimmt hervor, in welcher Weise ts und wv , deren Richtungen in dieselbe gerade Linie fallen, sich einander äussern. Denkt man sich die Richtungen dieser Kräfte von der Linie ru im geringsten abweichend, so bilden sie einen Winkel und sind folglich wirksam gegen einander; man sieht aber leicht, dass die Art ihrer Einwirkung nicht geändert wird, ob nun der Scheitelpunct des Winkels rechts oder links von der Linie ru liegt. Ihre Wechselwirkung muss demnach bei der in Fig. 201 bezeichneten Stellung Null oder was wahrscheinlicher von derselben Art seyn, wie wenn ihre Richtungen einen Winkel bildeten. Man hat hieraus weiter gefolgert, dass die Stromtheile selbst, wenn sie sich in einer geraden Linie gegen einander bewegen oder sich von einander entfernen, sich anziehen; und dass Stromelemente, die in derselben Richtung hinter einander her laufen, sich abstossen. Diese Schlüsse finden eine nähere Bestätigung in den folgenden Versuche.

Ein viereckiges Drahtgewinde $ABCD$, das aus 6—8 Windungen eines Kupferdrahts von 2 Mm Dicke verfertigt ist,

Fig. 202.



neben der Axe bc des astatischen Vierecks Fig. 202 so aufgestellt, dass die wagerechten Seiten ab und cd in gleiche Höhe zu liegen kommen, während die Ebenen beider Vierecke einen beliebigen stumpfen Winkel einschliessen. Gibt man nun einen eindringenden elektrischen Strom, die in der Figur durch Pfeile deutete Richtung, so stellt

sich das bewegliche Viereck nach einer Reihe von Oscillationen in der verlängerten Ebene des feststehenden und kehrt in diese Lage, wenn man es daraus entfernt, immer wieder zurück. Es verlässt dieselbe sogleich und beschreibt einen Bogen von 180° ; die Richtung des Stroms in dem einen Vierecke gewechselt. Nach welcher Seite es sich drehen werde, hängt von Umständen ab, ob es z. B. nach der einen oder andern Seite überhing.

Um die Wirkung irgend eines Elementes rs des einen

Fig. 203.

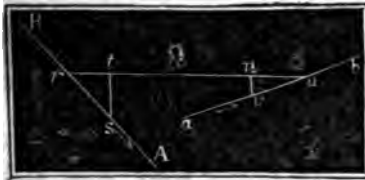


Fig. 203 auf ein beliebiges Element der Höhe liegendes Element des andern bequemer überlegen zu können, denke man sich dieses Stromtheilchen in die Seitenkräfte zerlegt; die in der Verbindungslinie rs , die andere winkelrecht auf diese

Es leuchtet dann sogleich ein, dass die parallelen Seitenkräfte vw bei zunehmender Grösse des Neigungswinkels abnehmen und endlich verschwinden, während die in die Richtung ru fallenden Kräfte zunehmen bis sie zuletzt die Grösse der Elemente selbst erreichen. Angenommen nun die Ströme gehen nach der in der Figur deuteten Richtung, so bewegen sich die parallelen Seitenkräfte vw in entgegengesetztem Sinne und wirken abstoßend auf einander. Die Seitenkräfte rt und uw welche hinter einander verlaufen, müssen sich folglich auch abstoßen, denn wirkten sie ziehend auf einander, so müsste der Draht ab von dem Draht cd angezogen werden, so lange der Winkel den sie bilden größer als ein rechter. Dem widerspricht aber der Versuch. Auf alle Weise ergibt sich aus dem vorhergehenden Versuche, dass die Elemente die beide gegen den Scheitelpunkt des Winkels fließen

in ihre Richtungen bilden, oder von demselben sich entferne wechselseitig anziehende Kraft ausüben müssen *).
 sind nunmehr im Stande, die Wechselwirkung zweier Theilchen r und s bei beliebiger gegenseitiger Stellung bezeichnen zu können. Bilden wir uns zu dem Ende ein System von rechtwinkligen Coordinatenaxen. Als eine derselben, z. B. als die Axe der X mag die Verbindungslinie beider Elemente dienen, die die Axe der Z falle in die durch das eine Stromtheilchen r bestimmte Ebene, die dritte endlich, die Axe der Y auf dieser Ebene senkrecht stehen. Zerlegen wir hierauf die Kraft eines jeden Elementes im Sinne dieser drei Axen in rechtwinklig zusammenstossende Seitenkräfte. Das Theilchen r erfährt dadurch in die Seitenkräfte x und y , das Theilchen s in die Seitenkräfte x' , y' und z' . Es ist nun nach dem Vorhergehenden leicht zu sehen, dass x und y gegen z' , dessgleichen dass x gegen y' und y gegen x' unwirksam sind, weil je das eine auf dem andern senkrecht steht. Die Wechselwirkung zwischen r und s ist also bekanntlich auf die Einwirkung von x auf x' , welche beide in dieselbe Ebene fallen und von y auf y' , die parallel laufen. Die Grösse der resultirenden Seitenkräfte bestimmt sich aus der Intensität von r und aus den Winkeln, welche ihre Richtungen mit den Coordinatenaxen bilden.

Die Stärke der Anziehung oder Abstossung steht ausserdem in einem zusammengesetzten Verhältnisse der Intensitäten beider Stromtheile und im umgekehrten des Quadrates ihres Abstandes.

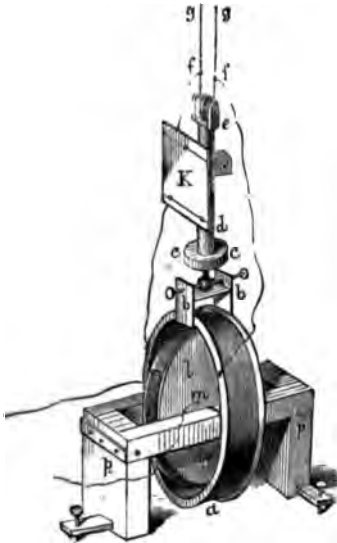
Das Stattfinden der beiden letzten Theile des Gesetzes der Wechselwirkung zweier Stromelemente scheint Ampère mehr als die überwiegende Wahrscheinlichkeit eines derartigen Resultats im Allgemeinen geschlossen zu haben, als dass er zur Unterstützung derselben unzweifelhafte experimentelle Beweise vor sich

es wäre freilich noch der Fall denkbar, dass zwei Stromelemente, die sich in derselben geraden Linie bewegen, gar nicht auf einander einwirken. Dieser Fall ist jedoch höchst unwahrscheinlich, weil ihm die Annahme zu liegt, dass die parallelen Seitenkräfte, ungeachtet sie, wenn die Drähte einen Winkel von nahe 180° bilden, einen verschwindend kleinen Werth ergleichen, doch noch ausreichend seyen, den nicht ganz unbedeutenden Widerstand in der Axe des magnetischen Vierecks zu überwältigen. — Die weiter unten erwähnten Versuche W. Weber's ist überdiess jeder in dieser Beziehung gehoben worden.

Man kann sich die Wechselwirkung zweier Stromelemente je nach ihrer relativen Lage versinnlichen, wenn man jedes derselben einem kleinen Magnetpolen vergleicht, dessen Pole in der durch die Richtung des einen und die Verbindungslinie beider Elemente bestimmten Ebene gelegen sind, und der positive Pol links, der negative rechts von der Richtung der Be-

447. W. Weber hat neuerdings diese Lücke in dem experimentellen Theile der Electrodynamic ausgefüllt, indem er die Richtigkeit des Ampère'schen Gesetzes in seiner ganzen Ausdehnung durch scharfe Messungen nachgewiesen hat. (Electrodynamische Maassbestimmungen von W. Weber, in den Abhandlungen bei Begründung der Kön. Sächs. Ges. d. Wissen. etc. herausg. v. d. Fürst. Jablonowskischen Gesellschaft.)

Fig. 204.



Weber hat zu diesem Zwecke ein ihm eigenthümliches Messinstrument benutzt, welches er Electrodynamometer nennt (Fig. 204). Es besteht im Wesentlichen aus zwei Drahtrollen, welche, wenn electricischer Strom dieselben durchdringt, auf einander einwirken. Die eine steht fest, die andere ist beweglich mit bifilarer Aufhängung. Weber hat ihr daher den Namen Bifilarrolle gegeben. Sie ist mit einem kleinen Spiegel verbunden der an ihren Bewegungen Theil nehmen muss. In diesem spiegeln sich die Theilstriche einer in mässiger Entfernung horizontal aufgestellten Scale und werden auf die bei dem Magnetometer beschriebene Weise mit dem Fernrohr abgelesen.

Die Bifilarrolle *aa* (Fig. 204) besteht aus einem dünnen Messingringe von 100 Mmre Durchmesser und 30 Mmre Breite, welcher zwei parallele Messingscheiben von 123 Mm äusserem und 100 Mm innerem Durchmesser verbindet und in 30 Mm Abstand von einander hält. Um diesen Messingring ist ein mit Seide übersponnener, $\frac{1}{3}$ Mmre dicker Kupferdraht ungefähr 3000 mal herumgewunden, so dass er den Zwischenraum zwischen beiden Scheiben ganz ausfüllt. Nach Aufwindung des Drahts wurden die beiden Messingscheiben durch eine feste messingene Klammer verbunden, welche in ihrer Mitte den Torsionskreis *oc* trägt. Dieser besteht aus zwei horizontalen Scheiben, von denen die untere durch die messingene Klammer mit der Bifilarrolle fest verbunden ist, die obere sich auf der unteren um eine vertikale Axe drehen lässt. Erstere ist mit einer Kreistheilung, letztere mit einem Index versehen. Die letztere hängt an einem hölzernen Zapfen *d*, welcher am oberen Ende die Gabel *ee* einer sehr beweglichen Rolle von 20 Mmre Durchmesser hält. Unter dieser Rolle ist ein seidener Faden *ff* weggeführt, der zu beiden Seiten der Rolle senkrecht

n geht und einige Mmtr über der Rolle an den beiden Susdrähten *fg*, *fg* angeknüpft ist. Zu denselben Anknüpfungspunkten sind die beiden Enden des um die Bifilarrolle gewundenen Drahtes geleitet, so dass der galvanische Strom durch den einen Draht zum einen Ende der Bifilarrolle gelangen und am andern Ende durch den zweiten Suspensionsdraht wieder zum Commutator kommen kann. Beide Suspensionsdrähte gehen senkrecht auf die Decke, wo sie an zwei von einander isolirten messingernen Platten befestigt sind. Von dort sind zwei andere Drähte abgeführt, der eine zu einem Commutator, der andere zum magnetischen Pol der Säule.

Um die Drehung der Rolle des Torsionskreises kann man der horizontalen Achse jede beliebige Lage geben, während die Suspensionsdrähte ihre natürliche parallele Lage beibehalten. Der Torsionskreis wurde so eingestellt, dass die Achse der Bifilarrolle mit dem magnetischen Meridiane zusammenfiel, so dass der Erdmagnetismus den Stand der Rolle, wenn ein Strom durch ihren Draht fließt, nicht ändern konnte. An dem hölzernen Zapfen *d* wurde ein horizontaler Planspiegel *K* befestigt, auf welchen aus etwa $3\frac{3}{10}$ Entfernung ein Fernrohr mit Fadenkreuz gerichtet wurde, durch welches das Bild einer nahe beim Fernrohr aufgestellten horizontalen Linie zu beobachten.

Die feste Rolle *l* (Figur 204) besteht aus zwei dünnen parallel liegenden Messingplatten von 88 Mmtr Durchmesser, die von einer dicken messingernen Achse *m* in 30 Mmtr Abstand von einander festgehalten werden. Der ganze Raum zwischen den Platten ist mit übersponnenem Kupferdraht von $\frac{1}{3}$ Mmtr Dicke, ungefähr 10000 Windungen um die Achse herum gewickelt, aus dem das eine Ende des Drahtes dicht an der Achse *m* durch eine in Elfenbein gefütterte Oeffnung nach Aussen geführt, das andere an der Peripherie der Rolle bei *m'* mit Seidenfaden festgehalten ist. Das eine Drahtende geht zum Commutator, das andere zum Multiplicatordrahte eines Magnetometers und von diesem dann zum Commutator. Die Achse *m* ragt auf beiden Seiten der Rolle hervor und ruht in entsprechenden Vertiefungen eines kleinen hölzernen Gestelles *pp*, das auf drei Füßen steht, die mit Schrauben zum Nivelliren versehen sind. Der eine Fuss hat ein Nivellirgelenk und kann so zurückgeschlagen werden, dass er sich in einem Theile des Gestelles und der festen Rolle durch die Oeffnung der Rolle hindurchführen lässt. Auf diese Weise wird es möglich, den Mittelpunkt der festen Rolle nach Erforderniss in die gewünschte Lage zu bewegen oder auch in beliebigen Abstand zu bringen.

Schutz gegen den Einfluss der Luft ist die Bifilarrolle mit einem hölzernen Gehäuse umgeben, in welches eine Glasscheibe eingesetzt ist. 27

eingesetzt ist, damit das Licht von der Scale in den Spiegel und von da zurück ins Fernrohr fallen kann.

Angenommen man lasse electriche Ströme von verschiedener Stärke nach einander in die Drähte des beschriebenen Apparats eindringen und beobachte gleichzeitig die dadurch bewirkten Ablenkungen der Nadel des Magnetometers und der Bifilarrolle des Dynamometers. Aus den ersteren ergibt sich die jedesmalige magnetische Kraft des Stroms und folglich die Stromstärke; aus den letzteren die zugehörige electro-dynamische Kraft. Wenn nun die Intensitäten der nach einander durchgehenden Ströme sich verhalten wie 1:2:3 u. s. w., so sollen nach dem Ampère'schen Gesetze die electrodynamischen Wechselwirkungen der festen und beweglichen Rolle der Reihe nach sich wie 1:4:9 u. s. w., d. h. wie die Quadrate der Intensitäten verhalten, und so hat es Weber in der That gefunden.

Wurde die feste Rolle aus ihrer Stellung im Innern der Bifilarrolle entfernt und ihr Mittelpunkt nach und nach in verschiedenen Abständen vom Mittelpuncte der Bifilarrolle gebracht, östlich oder westlich, nördlich oder südlich (d. h. längs dem magnetischen Meridian), während der durchgehende Strom immer gleiche Stärke behielt, so verminderte sich die wechselseitige Einwirkung beider Rollen. Wenn nun diese Abnahme von demselben Gesetze abhängig war, welchem die Grösse der Wechselwirkung zweier Magnete oder eines Magnets und eines geschlossenen electricchen Stroms unterworfen ist; so war es gestattet, die Abnahme der electrodynamischen Kraft bei zunehmender Entfernung mit Hülfe der Gauss'schen Formel (379) zu berechnen. Wirklich stimmten die beobachteten Ablenkungen der Bifilarrolle mit den auf dem angegebenen Wege durch Rechnung gefundenen Ablenkungen so genau überein, als nur irgend erwartet werden durfte.

Weber hat übrigens die Richtigkeit der von Ampère gegebenen electrodynamischen Fundamentalgesetze noch einer andern, direkteren und umfassenderen Prüfung unterworfen, indem er ausgehend von der Grundlage derselben, nämlich von dem, was Ampère selbst, für die Grösse der Wechselwirkung zweier Stromelemente im Raume, bestimmten Werthe, die Einwirkung der festen auf die bewegliche Rolle, bei den verschiedenen gegenseitigen Lagen und Abständen ihrer Mittelpuncte im Voraus berechnete und mit den beobachteten Resultaten verglich. Es zeigte sich eine fast vollkommen Uebereinstimmung der aus den Beobachtungen abgeleiteten ablenkenden Kräfte mit den durch die Rechnung bestimmten.

418. Das Dynamometer besitzt, wie vorher gezeigt wurde, die bemerkenswerthe Eigenschaft, dass wenn ein electriccher Strom durch beide Rollen geht, die hieraus entspringende ablenkende Kraft dem Quadrate der Stromintensität proportional ist, während bei andern Galvanometern die ablenkende Kraft nur im einfachen

Verhältnisse der Stromstärke steht. W. Weber hat von dieser Verschiedenheit beider Werkzeuge eine sinureiche Anwendung gemacht, um Stärke und Bewegungszeit solcher electricischer Ströme, welche wie der Entladungsschlag einer Leydner Batterie nur kurze Zeit anhalten, zu messen.

Lässt man einen Strom von sehr kurzer Dauer um eine Magnetnadel gehen, so verhält sich die Einwirkung wie die Gesamtmenge der in Bewegung gesetzten Electricität, oder auch wie das Product der Stromstärke in das Zeitelement. Denn die Geschwindigkeit, welche die Nadel gewinnt, ist zugleich von der beschleunigenden Kraft und von der Wirkungszeit abhängig. Erstere aber verhält sich wie die Stromstärke, d. h. wie die Electricitätsmenge welche gleichzeitig durch jeden Querschnitt fliesst. Wächst also die Stromstärke und vermindert sich verhältnissmässig die Zeit, so bleibt die Electricitätsmenge ungeändert, so muss auch stets die Ablenkung erhalten werden. Aus der beobachteten Ablenkung lässt sich daher in diesem Falle unmittelbar nur die Menge der Electricität ableiten. Um auch ihre Intensität bestimmen zu können, ist es nöthig die Stromdauer zu kennen.

Geht derselbe Strom durch beide Rollen des Dynamometers, so hat die entsprechende ablenkende Kraft im zusammengesetzten Verhältnisse der Dauer und des Quadrates der Intensität; sie wird gleich, immer gleiche Electricitätsmengen vorausgesetzt, um so kleiner, je kürzer die Stromdauer. Die gleichzeitige Beobachtung der in beiden Instrumenten bewirkten Ablenkungen führt daher zu drei von einander unabhängigen Gleichungen, von welchen die eine das Product der Dauer in die Intensität, die andere aber das Product der Dauer in das Quadrat der Intensität enthält, und aus denen somit beide Werthe abgeleitet werden können.

Weber hat versucht auf diesem Wege die Entladungszeit einer electricischen Batterie zu messen, wenn die Entladung durch eine nasse Hanfschnur von 7 Millimetre Dicke stattfand. Seine Versuche, die er indessen nur als vorläufige betrachtet, führten zu dem Resultate, dass die Entladungszeit der Länge der nassen Schnur proportional war und für die Länge von 2 Metro 0,0816 Sekunden betrug. (A. a. O. S. 295.) Dieses Resultat widerspricht keineswegs der von Wheatstone gefundenen Gewandigkeit der Electricität (siehe S. 284) bei der Entladung durch Kupferdraht, wenn man bedenkt, dass das Kupfer viele Millionen mal besser leitet als das Wasser.

Electrodynamische Vertheilung (Induction).

449. Volta-Induction. Jeder electricische Strom der an einem geschlossenen Leiter der Electricität vorübergeht, bewirkt in demselben im Augenblicke seines Entstehens und eben so im Augen-

blicke seines Verschwindens, eine Störung des electrischen gewichts und das Auftreten eines Stroms von sehr kurzer Dieselbe Erscheinung beobachtet man, so oft die Stärke des vorhandenen, aus der Electricitätsquelle (z. B. einer Volta Säule) unmittelbar abstammenden Stroms zunimmt oder abnimmt oder während der geschlossene Leiter dem unmittelbaren genähert oder davon entfernt wird.

Diese eigenthümliche Wirkung electrischer Ströme in die Luft ist im Jahre 1831 von Faraday entdeckt, und mit dem Namen Induction oder Volta-Induction bezeichnet worden. Die Physiker haben dafür den Ausdruck: Electro-dynamische Induction gewählt. Den aus dem Electromotor unmittelbar ergießenden Strom nennt man den vertheilenden oder inducirenden Strom; den durch die Atmosphärenwirkung des erst geweckten, mittelbaren oder sekundären Strom, nennt man den inducirten oder Vertheilungs-Strom.

450. *a*) Man wickle zwei mit Seide überspinnene Drähte *b* neben einander, in möglichst vielen Windungen um einander und verbinde *b* mit einem Galvanometer, *a* mit einer galvanischen Kette. In dem Augenblicke, da die letztere geschlossen wird, hält die Galvanometernadel einen Stoss, und zwar im Sinne des Stroms, der den Draht *b* in einer, der des vertheilenden entgegengesetzten Richtung durchdringt. Das Gleichgewicht stellt sich aber alsbald wieder her und die Nadel kehrt zu ihrer ursprünglichen Stellung zurück, aus der sie, so lange der ursprünglich mit unveränderter Stärke fort dauert, nicht wieder abweicht.

Im Augenblicke da man die Verbindung des Drahtes *a* mit dem Electromotor unterbricht und dadurch den vertheilenden Strom verschwinden lässt, erhält die Nadel einen zweiten Stoss, jetzt im entgegengesetzten Sinne, also im Sinne eines Stroms, der den Draht *b* in einer, mit der des inducirenden Stroms entgegengesetzten Richtung durchheilt.

β) Wenn in der geschlossenen galvanischen Kette neben dem Drahte *a* noch ein anderer, dünnerer oder sehr langer Draht geschaltet war, durch dessen plötzliche Absonderung aus der Kette doch ohne sie zu öffnen, die Stromstärke vermehrt wird, tritt die augenblicklich eintretende aber nur sehr kurze Zeit an die Nadel, dass der Draht *b* von einem Strom in dem entgegengesetztem Sinne des ursprünglichen durchlaufen war. Durch das umgekehrte Verfahren, nämlich durch Schwächen der Stromstärke wird ein Vertheilungsstrom von gleicher Stärke wie der vertheilende erhalten.

γ) Man nehme jetzt zwei getrennte Drahtrollen, am besten so dass die eine sich über die andere schieben lässt, und wieder wie vorher den einen Draht mit der Säule, den andern dem Galvanometer. Man stelle beide Rollen einander so

lass ihre Axen zusammenfallen, und nähere die eine der anderen entferne sie. In beiden Fällen wird ein Strom inducirt; welchen der erste (der durch Annäherung erzeugte) die entgegengesetzte, der zweite aber dieselbe Richtung hat wie der erste.

1. Die beschriebenen Versuche führen zu der Regel: dass ein inducirter Strom in einem parallel liegenden Leitungsdrahte, im Augenblicke seines Entstehens oder Anwachsens, oder auch wenn er demselben genähert wird, einen ihm entgegengesetzten Strom hervorruft, im Augenblicke des theilweisen oder gänzlichen Aufwindens dagegen, oder während er entfernt wird, einen in derselben Richtung laufenden. Diese Regel verliert jedoch ihre Geltung, wenn die Drähte nicht mehr parallel laufen. Man kann sich nach der folgenden, von Lenz aufgestellten, ganz allgemeinen Regel leicht zurecht finden:

Wenn in der Nähe eines metallischen Leiters ein inducirter Strom entsteht, oder seinen Zustand ändert (stärker oder schwächer wird oder eine andere Lage erhält), auch wenn in der Nähe eines Stroms von unveränderlicher Beschaffenheit sich ein Leiter bewegt, so wird in dem letzteren ein Strom erzeugt, welcher eine entgegengesetzte Richtung haben wird, um vermöge seiner Wechselwirkung auf den inducirenden Strom die Art Bewegung hervorbringen zu können, welche wirklich stattgefunden hat.

Beispiel: Zwei Drahtringe a und b von denen der erstere den Schliessungspunkt einer electrischen Kette bildet, stehen einander parallel gegenüber, so dass der Strom in die Windungen von a eintritt und dadurch sich dem Ring b nähert, entbindet sich aus diesem ein entgegengesetzt gerichteter Vertheilungsstrom, der also von dem vertheilenden Strom abgestossen wird. Ein inducirter Vertheilungsstrom entsteht, sowie der vertheilende Strom sich entfernt, d. h. sich wieder aus dem Ringe a entfernt.

Wenn die Ebenen beider Ringe sich rechtwinklig durchkreuzen, so wird die Weise, dass die Durchschnittslinie den Kreisstrom halbirt, nicht mehr besteht, es steht kein Vertheilungsstrom, weil die vertheilenden Kräfte sich in den beiden Hälften des Kreisstroms auf einen beliebigen Punkt des einen Ringes gleich gross und entgegengesetzt sind, daher sich gegenseitig aufheben müssen. Ein solches Gleichgewicht tritt nicht statt, wenn die Ringebenen einen spitzen Winkel bilden, es wird folglich im Augenblicke der Schliessung der galvanischen Kette ein Strom inducirt, der sich gegen die Durchschnittslinie der Ringe bewegt, wenn der ursprüngliche Strom sich von derselben entfernt und umgekehrt. Ein zweiter Inductionsstrom wird in entgegengesetzter Richtung entsteht, sobald die Kette geöffnet wird. — Wenn von beiden Ringen, deren Ebenen sich rechtwinklig durchkreuzen, der eine an der Ebene des andern vorübergeht, so wird sich in dem anfangs stromfreien Drahte ein Strom in solcher

menschnaichen Durchmesser als Axe drehbar; man setz
erst in die Ebene des andern Ringes, schliesse die Kette
ihn dann aus der parallelen in die senkrechte Lage über
ein Strom erzeugt, der gegen die Drehaxe läuft oder sich
selben entfernt, je nachdem der inducirende Strom sich
gegen dieselbe bewegt oder von derselben entfernt.
fort den Ring, immer in demselben Sinne wie vorher, bis
er wieder eine parallele Lage angenommen hat, so
ein neuer Inductionsstrom und zwar in gleichem Sinne
vorhergehende.

Wird dagegen der drehbare Ring in die anfängliche
rückgedreht, sey es durch eine rückgehende Bewegung
fortgesetzte Drehung in dem vorhergehenden Sinne;
Fällen entwickeln sich Ströme, welche die Galvanometer
nach der andern Seite treiben. Man sieht hieraus, dass
drehbare Ring eine oscillirende Bewegung durch die
Kreisstroms bewerkstelligt, es für die Richtung der hier
stehenden Inductionsströme ganz gleichgültig ist, ob er
der einen oder andern Seite der Ebene bewegt. Die un-
einander folgenden Ströme sind aber stets einander
gesetzt, je nachdem derselbe Arm des beweglichen
von der Ebene des Kreisstroms entfernt oder derselben
näher kommt.

Alle diese Verhältnisse lassen sich übrigens als ein-
gen der oben angegebenen Regel betrachten. Um das Ge-
betreffenden Versuche zu sichern, ist es gut zu jedem
mindestens 20 — 25 Windungen eines 2 Millimetre dicke
drahtes zu nehmen, und als Messwerkzeug ein zu theo-
retischen Versuchen geeignetes Galvanometer auszuwählen.

Nach der folgenden von Lenz aufgestellten Regel lassen sich die Richtungen der durch Magneto-Induction erregten Ströme mit leichter Sicherheit im Voraus bestimmen: Wird ein Leiter in der Nähe eines Magnets oder umgekehrt ein Magnet in der Nähe eines Leiters in Bewegung gesetzt, so erhält der in dem letzteren hervorgerufene Vertheilungsstrom eine Richtung, welche derjenigen entgegengesetzt ist, die ein durch denselben Leiter gehender Strom haben müsste, um in Folge seiner Wechselwirkung auf den Magneten eben die Bewegung hervorbringen zu können, welche unter dem Einflusse äusserer mechanischer Kräfte wirklich stattgefunden hat.

453. Eine hohle Drahtrolle deren Enden mit dem Multiplicator-Abzweiger eines Galvanometers verbunden sind, werde rasch über den einen Pol eines Magnetstabs bis zur Mitte desselben geschoben. Sogleich bemerkt man eine starke Ablenkung der Nadel. Sie entspricht einem durch die Windungen der Drahtrolle laufenden Strome, dessen Richtung den hypothetischen Strömen im Magnete entgegengesetzt ist. Dieser Versuch ist also, wenn man von der Ampère'schen Theorie ausgeht, nur eine veränderte Form des in N. 450. γ . beschriebenen. — Wird die Rolle wieder zurückgezogen oder auch in gleichem Sinne wie vorher weiter und über den andern Pol des Magnets hinausgeschoben, so entsteht ein weiterer Vertheilungsstrom in entgegengesetzter Richtung.

Betrachten wir jetzt nur einen einzigen durch den Galvanometerdraht geschlossenen Ring. Seine Stellung sey vor dem einen Ende eines Magnetstabs so gewählt, dass seine Axe in die Verlängerung der Magnetaxe fällt. Wird dieser Ring um einen seiner Durchmesser als Drehaxe, um 180° gedreht, so entsteht ein Vertheilungsstrom, dessen Richtung, bezogen auf die anfängliche Lage des Ringes, mit derjenigen der hypothetischen Ströme des Magnetstabs gleichlaufend ist. Bringt man den Ring in die frühere Stellung zurück, so geht ein neuer Strom durch die Drähte, dessen Richtung nunmehr derjenigen der hypothetischen Ströme des Magnets entgegengesetzt ist. — Wollte man eine oder die andere dieser Bewegungen, z. B. die erste durch die Wechselwirkung des Magnetstabs auf einen den Ring durchdringenden Strom hervorbringen, so würde die Richtung des letzteren derjenigen der hypothetischen Ströme des Magnets entgegengesetzt seyn müssen. Der Vertheilungsstrom muss also nach obiger Regel dieselbe Richtung nehmen wie die Ströme des Magnets, und so hatte man wirklich gefunden.

Es ist einleuchtend, dass eine Anzahl paralleler Windungen eines Leitungsdrahtes, die man vor dem Magnete um ihren gemeinschaftlichen Mittelpunkt dreht, sich ähnlich verhalten müssen wie ein einzelner Ring. Man erhält aber dadurch eine weit grö-

sere Menge vertheilter Electricität, und folglich mehr Siche eine deutliche Einwirkung auf die Nadel selbst eines weniger pfindlichen Galvanometers hervorzubringen.

Wenn man dem Drahtgewinde eine solche Lage gibt, seine Ebene die Richtung der Inclinationsnadel beiläufig rechtwlig durchschneidet, so erhält man durch Umdrehung des Gewi um einen seiner Durchmesser einen Strom von derselben Rich wie unter der Einwirkung des negativen Pols eines Magnets. An die Stelle eines Pols der letzteren Art ist nämlich in die Falle die nördliche magnetische Kraft der Erde getreten. — Gelingen dieses Versuchs erfordert neben einem empfindli Galvanometer eine Inductionsrolle von wenigstens 2 bis 300 we Windungen eines 1—2 Millimetre dicken Kupferdrahts.

Gibt man dem Ringe oder dem ringartigen Drahtgewinde solche Lage, dass die verlängerte Axe eines Magnetstabs e Durchmesser desselben bildet, und dreht man den Ring um die Durchmesser, so wird, vorausgesetzt dass keine andern Einfi als die des Magnets in Wirksamkeit treten, kein Vertheilungsst erregt. Es geschieht diess eben so wenig, wenn der Ring in bezeichneten Lage längs der Magnetaxe vorwärts oder rückw bewegt wird. — Hätte man durch den Draht einen andauern electrischen Strom gehen lassen, so würde, wie bekannt, die wirkung des Magnets auf denselben rechtwinklig gegen die R ebne gerichtet seyn; eine rotirende Bewegung des Ringes die verlängerte Magnetaxe oder eine geradlinigte Beweg längs dieser Axe hätte also dadurch nicht hervorgebracht we können.

Wird aber das Drahtgewinde unter oder über der Magneta in Bewegung gesetzt, oder wird ein Magnetpol an den Windun vorübergeführt, so entsteht ein Strom, welcher bei selbstständi Einwirkung auf den Magneten eine Bewegung hervorbrin müsste, die der wirklich stattgehabten gerade entgegengeset sein würde.

454. Ein geschlossenes Drahtgewinde werde der Ebene magnetischen Meridians gleichlaufend gestellt und im Innern selben ein Magnetstab aufgehängt. Man drehe den letzteren pl lich um seinen Mittelpunkt, den Nordpol nach West, so geht Strom durch die Windungen der den Nordpol der Nadel nach zu bewegen strebt. Geschieht die Drehung des Magnets nach so wird ein Vertheilungsstrom von entgegengesetzter Richt erregt. Aus diesen Versuchen geht hervor, dass eine zwisc geschlossenen Multiplicatordwindungen schwingende Magneta bei jeder Hin- und Herbewegung Ströme inducirt, welche ihr der ihrigen entgegengesetzte Bewegung einzuprägen und d nach ihre Schwingungsweiten zu vermindern suchen. Wenn Enden der Drähte in keiner leitenden Verbindung stehen, so l

e Inductionsströme nicht in Bewegung kommen; die Nadel kommt daher zwischen geschlossenen Winkeln schneller zu Ruhe als zwischen offenen.

iesem Erfahrungssatze beruht der Dämpfer, eine Vorrichtung die man bei Galvanometern häufig anbringt, um die Bewegung der Magnetnadel zu mässigen (zu dämpfen). Sie besteht aus einem Magnetometer aus einem starken Kupferringe, der in der Ebne ihres Meridians umgibt (371). Es ist einleuchtend, dass alle Metallmassen in der Nachbarschaft eines Galvanometers mehr oder weniger einen ähnlichen Einfluss ausüben

Man denke sich einen kräftigen Hufeisenmagnet so auf eine Ebene liegend, dass seine Pole über dem Rande desselben liegen. Der positive Pol sey nach Süden, der negative nach Norden gerichtet. Ein Stück dicken Kupferdrahts, dessen Enden Multiplicatordrahte eines in hinlänglicher Entfernung auf ein Galvanometer verbunden sind, werde in senkrechter Richtung zwischen beiden Polen durch gegen die Biegung des Drahtes geführt. Man wird alsbald eine Abweichung der Nadel von der Ruhelage wahrnehmen, einen Strom anzeigend, der von Norden Unten durch das Drahtstück gegangen ist. Ein Strom in umgesetzter Richtung entsteht, sobald das Drahtstück wieder gezogen wird.

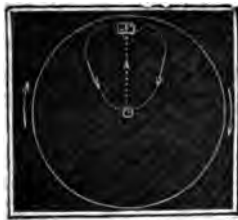
Man setzt über den Polen des Hufeisenmagnets werde eine drehradartige radiale Axe in wagerechter Stellung so angebracht, dass die Axe radial auslaufender Speichen oder Zinken von Metall der Umdrehung bis zu einer Quecksilberrinne hinabgeführt die sich zwischen beiden Polen und unmittelbar unter dem Draht befindet. Diese Rinne stehe mit dem einen Ende des Multiplicatordrahts, die metallische Axe mit dem andern Ende in Verbindung. So oft nun während der Umdrehung dieser dem Barren Rädchen (Fig. 194. S. 402) ähnlichen Vorrichtung die Quecksilber berührt, entsteht ein electricischer Strom, wie aus dem vorhergehenden Versuche ersichtlich ist, die Axe gegen die Quecksilberrinne läuft, wenn die betreffende Speiche sich durch das Quecksilber gegen die Biegung des Hufeisenbewegt. Die Richtung der bei fortgesetzter Drehung auf folgenden Ströme muss sich demnach gleich bleiben, so dass das Rädchen immer in demselben Sinne umdreht.

Man vertausche das Speichenrädchen mit einer kreisförmigen Scheibe von Kupfer und drehe die letztere in ähnlicher Weise wie die erstere um die wagerecht liegende Axe, so dass während der Umdrehung alle Punkte des Randes der Scheibe in das Quecksilber eintauchen müssen. Es ist einleuchtend, dass dieser Anordnung die nach einander mit der metallischen Rinne in Berührung tretenden Radien oder eigentlich kleinen

Ausschnitte der Scheibe dieselbe Rolle spielen werden, wie die Speichen des Rädchens. Es entsteht daher ein an der Scheibe, wenn die Lage des Hufeisens und die Richtung der rotirenden Bewegung dieselben bleiben wie in den vorhergehenden Versuchen. Bei umgekehrter Richtung der rotirenden Bewegung, oder wenn der Magnet die umgekehrte Lage erhält, wird auch die Richtung der Ströme umgekehrt.

Der bei diesem Versuche durch den Multiplicatordrang hervorgerufene Strom ist übrigens nur ein Theil der Electricität, die durch den Hufeisenmagnet in der rotirenden Kupferscheibe inducirt wird, denn das gestörte electrische Gleichgewicht findet in der zusammenhängenden Metallmasse der Scheibe die Mittel zur Ausgleichung. Es lässt sich aus diesem Grunde sehen, dass während der Umdrehung der Scheibe electrische Ströme selbst dann hervorgerufen werden müssen, wenn eine Axt durch die Mitte der Scheibe und dem Rande aus nicht stattfindet.

Fig. 205.

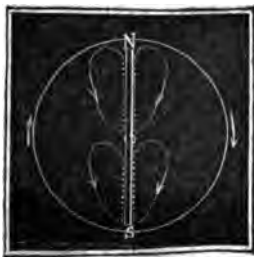


Es bezeichne z. B. N (Fig. 205) den Nordpol eines Magnetstabs, nahe über dem Rande einer rotirenden Kupferscheibe, deren Rotationsrichtung durch die neben der Scheibe angebrachten Pfeile angedeutet ist. Die durch die Hufeisenströme verursachten Ströme werden dann ungefähr die Richtung der Pfeile im Innern des Kreises beobachten. Eine Theilung der Scheibe nach der Axe zurückkehrenden

in der angedeuteten Weise ist in der Natur der leitenden Scheibe begründet und entspricht auch der Erfahrung, dass ein Theil des Stroms mit gleicher Leichtigkeit rechts oder links von dem Nordpol abgeleitet werden kann. Es ist nun einleuchtend, dass die durch die rotirende Scheibe inducirten Ströme bei dieser Richtung dahin trachten müssen, die Scheibe eine Bewegung in entgegengesetztem Sinne einzusetzen.

Wenn über der Mitte der Scheibe eine Magnetnadel so positionirt wird, dass ihre beiden Pole einen dem so eben betrachteten ähnlichen Einfluss; d. h. sowie die Scheibe in die dreher

Fig. 206.



wegung versetzt wird, entbinden sich in dem Sinne wie es in Fig. 206 angedeutet ist. Man sieht leicht, dass die gemeinsame Wirkung dieser Ströme der Scheibe einen einzigen Strom entspricht, der in der Richtung vom Südpol zum Nordpol unter der Nadel hergeht, und wodurch letztere im Sinne der Umdrehung der Scheibe aus ihrer Ruhelage abgelenkt wird. Diese Einwirkung unausgesetzt fort, so lange die Scheibe um ihre Axe

ird, so kommt es dass die Nadel bald ebenfalls eine rotirende Bewegung, in gleichem Sinne wie die Scheibe annehmen muss.

Dreht man die Magnetnadel über einer festliegenden Scheibe, so ist diess genau so als ob die letztere im entgegengesetzten Sinne bewegt würde. Die hierdurch erregten Vertheilungsströme streben nämlich die Bewegung der Nadel aufzuhalten. Es leuchtet hieraus hin, dass Metallplatten, die man möglichst nahe unter einer Magnetnadel anbringt, die Eigenschaft besitzen ihre Schwingungsweiten zu dämpfen. Diese eigenthümliche Einwirkung rotirender Metallplatten auf die Magnetnadel ist zuerst von Arago, im Jahre 1824 beobachtet worden, und zwar im Verfolge der von ihm gemachten Bemerkung, dass die Schwingungen einer Magnetnadel über Metallen und anderen Stoffen beträchtlich in ihren Weiten verringert wurden, ohne merklich an Dauer zu verlieren, so dass bei rascher Annäherung der Schwingungsweiten die Gleichzeitigkeit blieb.

Alle hiermit zusammenhängenden Erscheinungen wurden mit dem Namen Rotationsmagnetismus bezeichnet, bis es Faraday gelang, dieselben aus der Gegenwart oder aus dem Auftreten magnet-electrischer Ströme zu erklären.

456. Ein sehr wirksames Hülfsmittel zur Erzeugung magnet-electrischer Ströme gewährt der entstehende oder verschwindende Magnetismus des weichen Eisens. Man schiebe in die Hohlung einer Drahtrolle einen cylindrischen Eisenkern und nähere dann an einem oder andern Ende desselben einen Magnetpol, oder besser beiden Enden gleichzeitig die ungleichartigen Pole eines Hufeisenmagnets. Es wird ein Vertheilungsstrom erregt, von gleicher Richtung, jedoch weit grösserer Intensität, als der ohne Mitwirkung des Eisenkerns, bei gleicher Annäherung des Magnets hervorgerufen. Ein entgegengesetzt gerichteter Strom von gleicher Stärke entsteht bei der Entfernung des Magnets. Diese Wirkung des Eisenkerns ist ganz von derselben Beschaffenheit, als wenn in die Hohlung des Drahtgewindes von der einen Seite ein Nordpol, von der andern ein Südpol, die in der Mitte sich zu einem Magneten vereinigen, hineingesteckt würden. Beide müssen in dem Gewinde gleichgerichtete Ströme hervorbringen, weil sie entgegengesetzte Richtung der Bewegung haben. Beim Abziehen verkehrt sich die Richtung der hypothetischen Ströme im weichen Eisen, nach Maassgabe als der vertheilende Magnet sich entfernt, und es ist daher eben so als ob die beiden ungleichartigen Pole sich in entgegengesetzter Richtung aus der Drahtrolle herausgezogen würden.

Wenn der umwickelte Anker (der Inductor) eine feste Stellung erhält und der Hufeisenmagnet vor demselben um eine zwischen seinen Polen liegende und seinen beiden Schenkeln gleichlaufende Linie gedreht werden kann, so wird durch fortgesetzte Umdrehung die Folge von Strömen oder richtiger von Stromwellen erzeugt.

So oft beide Magnetpole gleichzeitig vor dem Anker vorübergehen, erhält dieser ein Maximum der Polarität. Die Stromstärke ist aber dann Null. Während der Drehung bis 90° (d. h. bis die Linie, welche die Pole verbindet, die Stellung des Ankers winkelrecht durchkreuzt) verliert der Anker den ihm zuvor ertheilten Magnetismus, gewinnt dagegen bei fortgesetzter Drehung bis 180° den entgegengesetzten. Durch beide Veränderungen wird aber ein Strom von gleicher Richtung inducirt, und zwar mit anfangs steigender, dann wieder fallender Intensität, in der Weise, dass das Maximum der Stromstärke allemal dann eintritt, wenn die magnetische Polarität des Ankers Null geworden ist. Bei der folgenden halben Umdrehung wiederholen sich alle Verhältnisse wie vorher, nur hat die gebildete Stromwelle die entgegengesetzte Richtung der früheren. Positive und negative Ströme folgen also auf einander, von einer halben Umdrehung zur andern. Doch kann bei grosser Rotationsgeschwindigkeit, wegen der zur Umkehrung der Polarität des Ankers erforderlichen Zeit, um etwas die Lage der Null- und Maximumspunkte verschoben werden. Die Wirkungen zweier auf einander folgender Stromwellen auf die Magnetnadel sind gleich an Grösse, da sie aber in der Richtung entgegengesetzt sind, so heben sie sich wechselseitig auf. So kommt es, dass bei rascher Umdrehung des Hufeisenmagnets um seine Axe und richtiger Einstellung der Multiplicatorsnadel, die in der Drahtrolle inducirten Ströme wohl ein Erzittern aber keine bestimmte Ablenkung derselben bewirken können *).

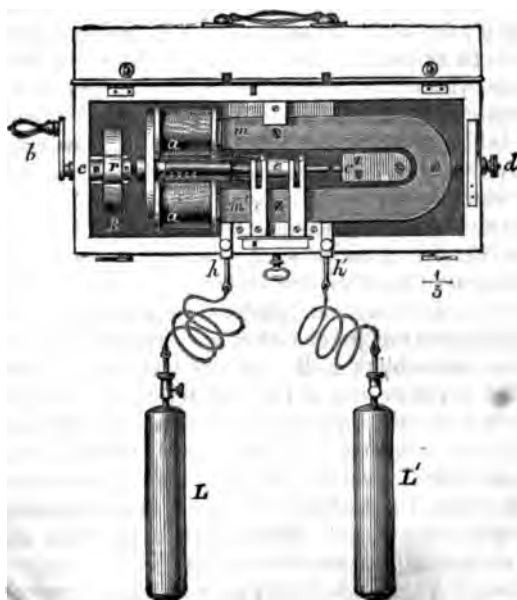
Die verschiedenen galvanometrischen Werkzeuge mit Magnetnadeln sind also unbrauchbar, um die absolute Stärke einer Folge derartiger Ströme oder Stromwellen zu messen. Das elektrische Dynamometer zeigt in dieser Beziehung eine sehr bemerkenswerthe Verschiedenheit. Geht ein electricischer Strom zugleich durch die feste und durch die bewegliche Rolle, so findet eine Umkehrung der Richtung desselben gleichzeitig in beiden Rollen statt. Die Ablenkungen der Bifilarrolle sind folglich ganz unabhängig von der Richtung der durchlaufenden Ströme. Man sieht hieraus, dass die Kraft der auf einander folgenden Wellen eines Inductionstroms mittelst des Dynamometers eben so sicher gemessen werden kann, als ob dieser Strom eine gewisse Richtung der Bewegung unverändert beibehielte.

Auf diese Weise ist es W. Weber gelungen, Inductionsströme wahrzunehmen, welche in einer Drahtrolle durch die vibrirende Bewegung einer zum Tönen angeschlagenen magnetisirten Stahlscheibe hervorgebracht wurden. (A. a. O. S. 297.)

*) Wenn vor Anstellung des Versuchs die Drahtwindungen der Axennadel nicht genau parallel standen, so erfolgt gleichwohl eine starke Ablenkung bis zu 90° , und zwar immer nach der Seite, nach welcher gleich anfangs die Abweichung stattfand. (Pogg. Ann. 45. 353.)

Geräthschaften, wie die vorher erwähnte, welche dienen magnet-electrische Ströme in unausgesetzter Folge zu gewinnen, indem ein Hufeisenmagnet vor einem Inductor oder umgekehrt der letztere vor den Polen des ersteren in rotirender Bewegung gesetzt wird, nennt man magnet-electrische Maschinen. Sie werden je nach den Zwecken ihres Gebrauchs in verschiedenen Grössenverhältnissen ausgeführt. Der wesentliche Theil der inneren Einrichtung wird sich aus der folgenden Abbildung einer kleineren von Stöhrer in Leipzig *) hauptzwecklich zu medicinischem Gebrauche bestimmten Maschine erkennen lassen. a' ist der Inductor in Hufeisenform; er ist vor den Polen des Hufeisenmagnets um die wagerechte Axe cc beweglich. Das hierzu erforderliche Triebwerk besteht aus der Kurbel b

Fig. 207.

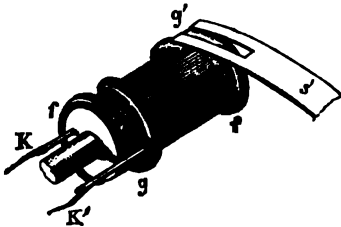


Rollen R und r , von welchen die erstere auf der Kurbel, die kleine Rolle r aber auf der Inductor-Axe cc sitzt. Beide sind von Holz, am Rande mit Leder umspannt und widerständig gepresst. Die hierdurch entstehende Reibung genügt um die Bewegung von der grossen auf die kleine Rolle zu übertragen. Der Magnet besteht aus 5 Lamellen, jede von 5 Millimetern Dicke, die zusammengeschraubt, an der Vorderseite eben ab-

*) Ann. B. 61. S. 417. Ueber ältere Anordnungen von Pixii, Saxton, vergleiche man: Pogg. Ann. B. 27. 390 u. 398. B. 39. 401.

geschliffen und können mittelst der Schraube d der Vorder Inductors genähert oder davon entfernt werden. Auf der

Fig. 208.



Welle cc sitzt ein hohler Cylinder e , der in Fig. 208 serem Maassstabe zu se kann mittelst der Schraub der Stellung auf der Welle werden. Den mittleren Th Cylinders umgibt ein zwe singrohr gg' , welches von steren durch Holz und S aufs sorgfältigste isolirt i von beiden Abtheilungen d

Cylinders trägt zwei stählerne Halbringe, welche so sind, dass f und f' , die auf der einen Abtheilung aufgelö ferner g und g' , die auf dem andern sitzen, sich je zu ei ständigen Ringe ergänzen. Die von den Inductionsrollen auslaufenden Drähte sind an Stiften K und K' befestigt, das eine Drahtende mit dem äusseren, das andere mit den Cylinder in leitende Verbindung gesetzt wird. Mittelst de den Stahlstreifen s und s' , welche an dem Gestelle ange sind und während der Umdrehung der Axe über die l schleifen, kann dann die entwickelte Electricität weiter fc werden. Die Streifen s und s' sind, wie man bemerkt, ga ausgeschnitten und so über den Halbringen angebracht, einer halben Umdrehung zur andern, abwechselnd der und innere Cylinder mit jeder Gabel in Berührung komm. In demselben Augenblick z. B., da der Halbring g' den f verlässt, wird der Halbring g (der gleichwie g' auf dem Cylinder sitzt) von dem Streifen s ergriffen. Bei dieser A und eine richtige Stellung der Halbringe gegen die In rollen vorausgesetzt, wird es möglich, die auf einander f entgegengesetzten Vertheilungsströme zu einem einzige artigen und also auch durch seine Einwirkung auf die meternadel messbaren Strome zu vereinigen.

Dieser ganze Apparat befindet sich in einem verschli Kästchen von Holz von weniger als 1 Fuss Länge und ei daher vorzugsweise zum Transporte.

458. Wenn der Inductor einer magnet-electrischen l welche ähnlich der vorhergehenden mit einem Commuta mit einer Vorrichtung versehen ist, den auf einander f positiven und negativen Strömen ei: erlei Richtung z len, mit möglichst gleichförmiger Geschwindigkeit ged der gebildete Strom um eine Magnenadel geführt wird, s die letztere sehr bald eine fest: Stellung an, als Beleg, circulirende Strom eine beständige Stärke besitzt. Die ab

ft nimmt zu bei zunehmender Schnelligkeit der Umdrehung, doch in etwas geringerem Verhältnisse als die Geschwindigkeit, dass über eine gewisse Gränze hinaus nichts mehr gewonnen rd. Der Grund ist in dem Umstande zu suchen, dass für die Umdrehung der magnetischen Polarität des rotirenden Ankers stets eine gewisse Zeit erfordert wird.

Das folgende von W. Weber angegebene Verfahren ist geeignet, den Einfluss der Zeit auf die Stärke eines inducirten Stroms zu messen. Ein cylindrischer Stab von weichem Eisen, etwa ein Meter lang, werde an beiden Enden mit den gleichartigen Polen zweier kräftiger Magnete in Berührung gesetzt. Angenommen es seien die positiven Pole, so bemerkt man, dass der Stab fast seiner ganzen Länge nach und überall so ziemlich gleich stark positiv magnetisch geworden ist. Hatte man nun vor dem Anlegen der Magnete eine Drahtrolle über den cylindrischen Stab geschoben, so lassen sich durch jede Hin- und Herbewegung derselben electrische Ströme hervorrufen, und zwar findet man, dass die Stärke des Stroms der Länge des Wegs, den die Rolle zurückgelegt, fast proportional ist.

Man beschreibe die Drahtrolle bei mehreren hinter einander folgenden Versuchen immer dieselbe Länge des Wegs, während der in derselben erzeugte Strom durch die Multiplicatordrehungen der langsam bewegten Magnetometernadel geht, so erhält man immer dieselbe Grösse der Ablenkung, ob nun die Bewegung rasch oder langsam vor sich gegangen ist. Man erkennt hieraus: dass die Stärke der durch electrodynamische Vertheilung frei werdenden Electricität nicht von der Schnelligkeit der Einwirkung, sondern von dem Wege abhängig ist, den die vertheilende Kraft bei ihrer gleichförmig fortdauernden Einwirkung zurücklegt. Was dagegen die Stromstärke oder diejenige Electricitätsmenge betrifft, welche während einer bestimmten Zeit durch jeden Querschnitt des Drahts eilt, so ergibt sich, dass diese in geradem Verhältnisse zur Geschwindigkeit der einwirkenden Bewegung steht.

§ 59. Lässt man den einer gewissen Länge des Wegs entprechenden Inductionstrom durch den Draht eines gewöhnlichen Multiplicators (368) mit einfacher oder astatischer Doppelnadel gehen, so steht die Grösse der Ablenkung nur dann in einfacher Beziehung zur gebildeten Electricitätsmenge, wenn der Strom die Multiplicatordrehungen bereits durchheilt und die ganze Kraft seines Inductionses auf die Nadel bereits übertragen hat, bevor dieser Zeit auslaufen würde ihre Ruhelage zu verlassen. In diesem Falle ist die Schnelligkeit der Einwirkung von grosser Bedeutung für die Genauigkeit der gewonnenen Resultate. Der Grund liegt, wie leicht zu sehen ist, darin, weil die ablenkende Kraft des Stroms bei verschiedenen Stellungen der Nadel nicht gleich bleibt.

Die Geschwindigkeit, welche die Galvanometernadel durch den

senkrechten Stoss eines Stroms von nur augenblicklicher I empfangt, wird allmählig durch die rückführende Kraft des magnetismus wieder aufgehoben. Der unterdessen beschriebene Bogen sey α . Denkt man sich die gesammte Kraft des Stosses in eine gleichförmig fortwirkende Kraft verwandelt, immer senkrecht gegen die Axe der Nadel thätig und auf die Zeit einer gegebenen Schwingung vertheilt, so würde derselbe Bogen α zu Stande gelegt werden müssen. Die Bewegung würde aber in dem Falle von der Wechselwirkung zweier Kräfte abhängig seyn, die sich um den Mittelpunkt des Bogens α im Gleichgewicht halten müssten, und von welchen die eine, nämlich die erdmagnetische Kraft die Grösse $T \sin \frac{\alpha}{2}$ besässe. Die Kraft des Stosses

was hier dasselbe ist, die Menge der in Umlauf getretenen Electricität verhält sich demnach wie das Product des Erdmagnetismus in den Sinus des halben Ablenkungsbogens. Man gewinnt hierdurch ein Mittel die Kräfte verschiedener Inductionsströme von sehr kurzer Dauer unter einander zu vergleichen.

460. Durch Maassbestimmungen, welche auf dem so eben beschriebenen Wege ausgeführt wurden, hat Lenz (Pogg. Anz. 385) zuerst bewiesen: Dass die electromotorische Kraft, welche unter dem vertheilenden Einflusse eines Inductionsstroms, der gleichmässig auf alle Windungen einer Drahtspule einwirkt, in dieser letzteren geweckt wird, in der Grösse der Windungen im geraden Verhältnisse zu ihrer Anzahl steht, und von der Dicke des Drahtes von dem Stoffe des Drahts ganz unabhängig ist.

Aus einem Leitungsdrahte von gegebener Länge, dessen Enden mit denen des Multiplicatordrahts verbunden waren, wurde eine von Versuch zu Versuch zunehmende Anzahl gleichgroßer neben einander liegender Windungen gebildet, auf welche man den inducirenden Magnet eine sehr kurze Zeit und immer mit gleicher Stärke einwirken liess. Da, wie bemerkt, die Drahtvertheilung unverändert blieb, also der Leitungswiderstand bei allen Versuchen gleich war, so musste nach dem Ohm'schen Gesetze die electromotorische Kraft sich genau wie $\sin \frac{\alpha}{2}$ verhalten.

So sind z. B. die folgenden Resultate gewonnen worden, aus welchen das angeführte Gesetz sehr deutlich hervortritt.

Zahl der Windungen	Ablenkung α	$\sin \frac{\alpha}{2}$
5	8,63	0,07525
10	17,40	0,15126
15	26,45	0,22875
20	35,25	0,30278
25	45,10	0,38349
30	55,05	0,46213.

magnete zur Verlegung zu haben.

Eine von W. Weber gegebene Anleitung: das Maass der Wirknet-electrischer Maschinen zu bestimmen, findet man in Pogg. An

Da die Electricitätsmenge, welche in einem Drahtgewinde du erregt werden kann, von der Leitfähigkeit des Stoffes in einer gewissenigigkeit steht, die sich nach dem Ohm'schen Gesetze vorhersehen hierdurch ein Mittel gegeben, aus der Stärke des inducirten Stroms vermögen selbst abzuleiten. Gesetzt man bringe nach und nach von gleicher Windungszahl aber verschiedenartigen Metallen in V den Ansläufern des Multiplicators, und erzeuge den Inductions durch dieselbe magnetische Kraft; so wird jeder Versuch zu eiführen von der Form: $\sin \frac{1}{2} \alpha = \frac{K}{R+r}$, worin K die Summe d torischen Kräfte sämtlicher Windungen, R den Widerstand des drahts, r den Leitungswiderstand der Drahtrolle vorstellt, und wo

$$\text{wird } r = \frac{K - R \sin \frac{1}{2} \alpha}{\sin \frac{1}{2} \alpha}$$

Nach dieser Methode hat Lenz das bereits früher (420) mit tungsvermögen einiger Metalle bei verschiedenen Temperaturen i macht. (Pogg. Ann. 31. 418; 41. 345; 45. 105.)

Ein ähnliches Verfahren hat Lenz späterhin mit Jakobi ge angewendet um die Gesetze der Electromagnete zu studiren. Ei Strom von bekannter oder doch messbarer Stärke wurde nämlich Electromagneten zu erzeugen, der seinerseits wieder in einem zw gebenden Drahtgewinde einen Inductionsstrom hervorrief, dessen die Multiplicatornadel gemessen wurde. Dabei nahm man an: das der durch Verschwinden des Magnetismus im Eise diesem Magnetismus selbst proportional sey. Die bet umfassenden Untersuchungen finden sich in Pogg. Ann. B. 47. B. 51. S. 358; B. 61. S. 254 u. 448. Die Resultate derselben sind v (N. 440) mitgetheilt, auf ganz anderem Wege erhaltenen im nicht abweichend

nischen Kette, und können daher innerhalb der Grenze der, welche sie besitzen, den letzteren vollständig ersetzen; B. dünne Metalldrähte zum Glühen oder selbst zum Schmelzen bringen, Electromagnete zu bilden, electrodynamische Erregungen hervorzurufen, chemische Zersetzungen zu bewirken, s. w. Dabei besitzt die magnet-electrische Maschine den nicht unbedeutlichen Vorzug, jeden Augenblick des Bedarfs ohne weitere Vorbereitungen zur Verfügung zu seyn. Ihre Anwendbarkeit in den meisten Fällen ist gegenwärtig noch dadurch beschränkt, selbst mit den kräftigsten Maschinen, die bis jetzt ausgeführt sind, unter übrigens gleich günstigen Bedingungen, eine Erregung eines einzigen Kohlen-Zinkpaares gleiche Wirksamkeit zu erreichen vermöge.

Nach Benutzung eines sehr einfachen Hilfsmittels, nämlich wiederholte Unterbrechung des Inductionsstroms, immer in Augenblicke da er das Maximum seiner Stärke erreicht hat, gelingt es gleichwohl gelungen, selbst mit Maschinen von weit geringerer Kraft als die vorher bezeichnete, eine ziemlich lebhaftere Zersetzung hervorzubringen, heftige electriche Schläge zu heilen und starke, glänzende Funken zu erzeugen. Unterbrechungen der metallischen Schliessung des Inductorrahmens während der Umdrehung lassen sich auf mancherlei Weise bewerkstelligen. Bei der Stöhrer'schen Maschine geschieht es dadurch, dass die stählernen Ringsegmente, welche in Verbindung mit den auf ihnen schleifenden gabelförmigen Stahlfedern den Commutator bilden, um ein wenig grösser als Halbkreise sind, wiewohl leicht einzusehen, zweimal bei jeder Umdrehung eine vollständige Schliessung der Kette hergestellt wird, dergestalt während eines Augenblicks die Verbindung der Stahlfedern mit einem in den Schraubenklemmen *k* und *k'* (Fig. 208) befestigten Leiters nur als Nebenschliessung erscheint. Ist diese Nebenschliessung ebenfalls gut metallisch, so wird die Circulation der inneren Electricität keinen Augenblick unterbrochen, nur theilt sich sie zweimal bei jeder Umdrehung, in der Weise, dass ein Theil derselben von einem Ringsegmente zu dem nebenliegenden übergeht, ein anderer Theil der Nebenschliessung folgt. Ist aber die Nebenschliessung nur unvollkommen oder gar nicht bewerkstelligt, so zeichnen sich electriche Funken bei jeder Unterbrechung des Stroms, und oft die schleifenden Federn das eine oder andere Ringsegment verlassen. Wenn der Inductor aus Windungen eines dicken Drahtes besteht, so sind die Funken stark und glänzend, und bei jeder Umdrehung erhält man einen Strom von electricchem Charakter, begleitet von lebhaftem Sprühen verbrennender Eisentheile. Wird die Nebenschliessung durch einen Wasserzersetzungsgas gebildet, so beginnt die Gasentwicklung sogleich mit der Bewegung des Inductors. Werden die Federn, oder besser die da-

mit in Verbindung stehenden Metallstücke L und L' (Fig. 207) mit den Händen gefasst, so erhält man zwei Schläge bei jeder Umdrehung. Durch schnelle Umdrehung können daher diese Nervenerschütterungen sehr gehäuft und dadurch bis ins Unerträgliche gesteigert werden. Die magnet-electrischen Maschinen werden am häufigsten zur Hervorbringung physiologischer Erscheinungen benutzt, weil zu diesem Zweck auch kleinere Apparate, wie der oben beschriebene von Stöhrer, vollkommen genügen.

462. Die durch Unterbrechung momentan gesteigerte Thätigkeit des magnet-electrischen Stromes beruht auf einer sehr merkwürdigen vertheilenden Einwirkung, welche die Inductionsströme und überhaupt electriche Ströme aller Art im Augenblicke ihres Entstehens und während ihrer Intensitätszunahme, so wie während ihres Verschwindens auf die natürlichen electriche Flüssigkeiten des Leiters ausüben, durch den sie ihren Weg nehmen; eine Einwirkung, die übrigens ihrem Wesen nach von ganz analoger Art ist, wie die bisher betrachteten Inductionserscheinungen (Pogg. Ann. B. 35. S. 413. B. 56. S. 251.)

Man verbinde die beiden Platten eines constanten electriche Paares durch einen kurzen Draht; man wird dabei, wie man auch verfahren mag, nur schwache Funken und keinen merklichen Schlag erhalten. Verwendet man aber als Schliessungsdraht eine Schraubenrolle und hat man in diese einen Eisenkern eingeschoben, so fühlt man beim Oeffnen der Kette, wenn man zuvor beide Drahtenden mit den Händen gefasst hatte, einen Schlag. Zugleich zeigt sich an der Trennungsstelle ein heller Funke, und wenn der Draht aus Quecksilber gezogen wird, bedeutende Verbrennung desselben. Im Augenblicke der Schliessung wird weder ein Funke noch die geringste Nervenerschütterung bemerkt. Es liegt nahe, das Ausbleiben des Funkens im letzteren Falle als eine Folge des vermehrten Leitungswiderstandes zu betrachten, die erhöhte Wirkung beim Oeffnen aber dem Stosse, also einem rein mechanischen Effecte der einmal im Bewegungszustande befindlichen Electricität zuzuschreiben. Diese Ansicht der Sache ist jedoch unrichtig; denn wenn man zwei lange Drähte neben einander um einen Eisenkern wickelt und sie dann so unter einander und mit der galvanischen Kette verknüpft, dass der Strom beide Gewinde in entgegengesetzter Richtung durchlaufen muss, so zeigt sich weder beim Oeffnen noch beim Schliessen ein stärkerer Funke als bei der Anwendung eines kurzen Drahtes. Dass der verstärkte Trennungsfunke überhaupt nicht von einer Vermehrung der circulirenden Electricitätsmenge herrühren kann, zeigt am deutlichsten der folgende Versuch: Man verbinde das eine Ende des Inductordrahtes einer magnet-electrischen Maschine mit dem Multiplicatordrahte eines Galvanometers, schliesse die Kette durch einen dünnen Argentandraht und messe die Stärke des z. B. durch ein

Umdrehung inducirten Stroms. Man schliesse sodann eine Kette mit eingeschobenem Eisenkern in dieselbe Kette ein, aber dafür so viel Argentandraht, dass der Gesamtleiterstand unverändert bleibt; man wird finden, dass die Umdrehung erzeugte Electricitätsmenge sich nicht geändert hat. Da demnach durch Einschliessung eines Eisenkerns in den Kreislauf eines electricischen Stroms die bewegte Electricität im Ganzen weder vermehrt noch vermindert wird, so kann die geschwächte Wirksamkeit beim Oeffnen der Kette, so wie die gesteigerte beim Schliessen, nur auf dem Grund haben, dass unter dem Einflusse des Electro-Inductors der Strom in der ersten Periode seiner Circulation geteilt, dafür aber in der letzten Periode um eben so viel vermehrt worden ist.

Ein Draht ohne Eisenkern äussert einen ganz ähnlichen Funken jedoch in vermindertem Grade. Ein langer, nicht gewundener Draht gibt ebenfalls beim Oeffnen einen stärkern Funken als ein kurzer, nur ist die Wirkung noch weniger auffallend, als bei einem Drahte, nachdem man daraus ein Schraubengewinde hatte, wiewohl weit auffallender als bei unmittelbarer Umdrehung der Kette. So wie die Länge des Schliessungsdrahtes steigt, so steigert sich die Wirkung (Trennungsfunke und Schlag) bis zu einer gewissen Gränze hinaus, nach welcher vermehrten Leitungswiderstandes wieder abnimmt.

Diese Erscheinungen zeigen darauf hin, dass der electricische Strom während seiner Intensität zunimmt, in der Masse des Drahtes, welchen er durchläuft, einen Strom in entgegengesetzter Richtung inducirt, und dass er dadurch im ersten Augenblicke seiner Wirksamkeit schwächt; dass er dagegen beim Oeffnen der Kette, während der dem Verschwinden vorangehenden Intensität, in der Drahtmasse einen gleichgerichteten Strom inducirt, durch dessen Hinzutritt seine eigne Wirksamkeit erhöht. In der That, wenn der Schliessungsdraht lang und zu einer Schraube aufgewickelt wird, werden diese Wirkungen sehr gesteigert, weil eine jede dieser vertheilende Kraft auf die benachbarten ausübt und jeder dem Einflusse dieser unterworfen ist. Durch Einschliessung eines Eisenkerns in die Kette erhält man eine noch mehr gesteigerte Wirkung, indem der verschwindende Magnetismus des Electro-Inductors beim Oeffnen der Kette in gleichem Sinne wirkt, wie der inducirte Strom im Drahte.

Es giebt eine besondere Art Inductionsströme, welche wir so eben kennen gelernt haben, deren eigenthümliche Wirksamkeit gleichsam darin besteht, die Entladungszeit des erzeugenden Stromes abzukürzen und dadurch, ohne Aenderung seiner Quantität dennoch die Intensität zu steigern, sind von ihrem Entdecker, Faraday,

Ueber den Grund dieses Verhaltens geben die Versuche und Erfahrungen befriedigenden Aufschluss. Von gleich langen Drähten (a und b), die neben einander Eisenkern gewickelt sind, werde der eine (a) durch Ver seiner Enden unmittelbar metallisch geschlossen, der a mit einer electrischen Kette verbunden. Man erhält bei des letzteren keinen Schlag und keine merkliche Verstärkung; diese Verstärkung tritt aber alsbald ein, wenn Enden des andern Drahtes (a) getrennt lässt, so dass Inductionsstrom darin zur Entwicklung kommen konnte. Die Wirkung eines Nebenstroms oder Inductionsstroms zweiter Ordnung in der Masse des Hauptleiters (b) selbst wird also verhindert sehr aufgehoben, wenn in einem gleichlaufenden Nachbar ein Strom inducirt werden kann. -- Bringt man in die Drahtrolle an die Stelle des Eisenkerns einen geschlossenen Cylinder von Kupferblech, so kann die Wirkung des Nebenstroms ebenfalls nicht aufkommen. Dieses Verhalten ist dem Verhalten eines Inductoriums ähnlich, denn man weiss, dass ein electrischer Strom in einem geschlossenen Inductorium umkreiste, Kreisströme von gleicher Richtung inducirt wird, wenn die Induction dieser Ströme wird verhindert, wenn der Inductorium der Länge nach aufgeschlitzt ist, ganz so wie in dem Draht (a) durch Lösung der verknüpften Enden. In dem aufgeschlitzten Blechcylinder keinen Einfluss auf die Induction der Drahtrolle. Ein geschlossener Cylinder von Kupferblech oder auch ein massiver Eisenkern, als gute Leiter der Induction und ganz abgesehen von ihrer magnetischen Thätigkeit sich in der Höhlung der Drahtrolle ähnlich wie der Kupferblech verhalten. D. h. während des Verschwindens des in den Drahtrollen circulirenden ursprünglichen Stroms, so wie wenn man die Drahtrollen in einem magnetischen Inductorium

den Kraft des weichen Eisens erforderliche Zeit abgekürzt (Pogg. Ann. B. 48. S. 95. B. 49. S. 72.)

Da durch Vermittlung von Inductionsströmen zweiter Ordnung die Möglichkeit gegeben ist, die Intensität eines electricischen auf eine in der That überraschende Weise zu erhöhen, so es nur noch einer geeigneten Vorkehrung, den metallischen Zusammenhang in regelmässiger Folge und mit genügender Regelmässigkeit zu unterbrechen, um mit galvanischen Ketten von geringer für sich mässiger Triebkraft, Erscheinungen zu bewirken, die man sonst nur mit kräftigen electricischen Säulen herbeiführen vermochte, wie Wasserzersetzung, starke Funkenentladungen von Kohlenspitzen, eine Folge von Schlägen

von Neeff erfundene Blitzrad (Fig. 131, S. 276) ist eine einfache Vorrichtung. Man leite das eine Ende eines constanten electricischen Elementes, z. B. eines Daniell'schen Kupfer-Zink-Elementes, zu der Axe des Blitzrades, das andere zu einer Inductionsschleife von 100 — 600 Umwindungen eines Drahtes von 1 Millimetre Durchmesser, welche den Strom weiter zu dem Kupferstreifen des Blitzrades führt und dadurch die Kette schliesst. Man wird dann bei jeder Umdrehung der Scheibe bewirkten Unterbrechung des Stromes einen Funken bemerken; gleichzeitig erhält man einen elektrischen Schlag, wenn man die Drahtenden der Rolle, welche zu dieser Vorrichtung am Besten in dicke cylindrische Metallstücke ausgearbeitet sind, mit den Händen gefasst und dadurch eine Nebenschliessung herstellt.

Das ist eine höchst sinnreiche Vorrichtung, welche Neeff, unter der Leitung des mechanischen Talent Wagners bei dem magnetoelectricischen Apparate anbrachte (Pogg. Ann. B. 46. S. 104.), die Unterbrechungen unter der Einwirkung des Stromes zu bewerkstelligen sorgte. Das Blitzrad wurde dadurch entbehrlich gemacht.

Fig. 209.

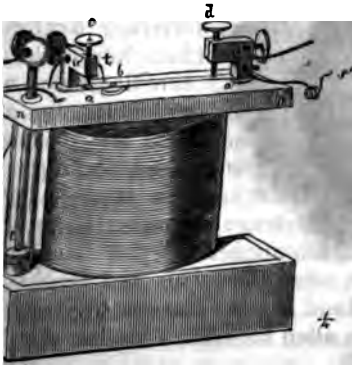


Fig. 209 zeigt den Neeff'schen Magnetelectromotor in $\frac{1}{4}$ der natürlichen Grösse und in der sehr zweckmässigen Gestalt, welche demselben gegenwärtig von dem Mechanikus Desaga in Heidelberg gegeben wird. — Die Drahtrolle von länglicher runder Gestalt ruht auf einer Holzunterlage. Ihre Höhlung ist mit Bündeln von weichem Eisendraht ausgefüllt. Zwei dieser Draht-

stücke, oben und unten mit Schrauben versehen, dienen um das Bodenbrett mit dem Brettstücke nn und der Rolle zu halten. aa' ist ein federnder Kupferstreifen, der bei a gehalten wird und bei b eine kleine Platte von weichem Eisen. Letztere schwebt über den an dieser Stelle etwas höher steigenden Eisenstiften der Inductionsrolle, ohne jedoch Berührung kommen zu können. Das Ende des Kupferstreifens a ist mit einem Platinblättchen bedeckt, das gegen eine Platte c drückt, die an der Schraube c fest sitzt. Die Schrauben dienen um die Stellungen der Eisenplatte b , so wie der Platte a zu reguliren. s und t sind die Enden des Schraubendrahtes, u nun das Drahtende t in einer Oeffnung des Bügels u , ein Draht s' in einer Oeffnung des Bügels u' festgeklemmt. Bindet man s und s' mit den Polen des galvanischen Paares, geht der bei s eindringende Strom, nachdem er alle Drahten durchheilt hat bei t in den Bügel u , gelangt so zur Spitze und dem Kupferstreifen und nimmt durch den seinen Rückweg zu der Quelle. Die Eisenstifte in der Rolle magnetisch geworden, ziehen die Eisenplatte b an; weil durch das vordere Ende des Kupferstreifens von der Platte entfernt und also die Kette unterbrochen wird, so verliert der Magnetismus des Electromagnets sogleich wieder und der wird durch seine Federkraft von Neuem gegen die Spitze um alsbald wieder entfernt zu werden u. s. w. Die auf die hin- und hergehende Bewegung ist gewöhnlich nicht sichtbar lässt sich aber leicht aus dem hieraus entstehenden dumpfen Geräusch erkennen. Zugleich bemerkt man zwischen Spitze und Platte einen lebhaften Funkenübergang. Bringt man an die Enden, bei s und in dem Bügel u , eine Nebenschliessung vermindert sich die Lebhaftigkeit des Funkenübergangs, ein Theil der Electricität diesen andern Weg nimmt. Mittels dieser Nebenschliessung und zweier Daniell'scher Elemente lässt man alle die Erscheinungen hervorrufen, welche sonst nur durch den Einflusse weit bedeutenderer electromotorischer Kräfte eintreten. Die Wirkung auf den menschlichen Körper ist sehr mächtig; die Schläge pflanzen sich durch eine Reihe von Personen fort, wenn diese sich mit benetzten Händen berühren. Endigen die Nebenleiter in Metallgefässen, die mit Wasser gefüllt sind, so wird die Einwirkung auf die eingetauchten Finger solcher Heftigkeit gesteigert, dass sie von wenigen Augenblicken länger als einige Augenblicke ertragen werden kann. Man kann die Nebenleitung durch Eintauchen zweier Metallplatten in einen Wasserbehälter von Glas oder Porzellan und taucht die Hände oder auch nur eine Hand in das Wasser zwischen die Platten, so empfindet man an allen benetzten Stellen die der eindringenden Electricität.

die Stärke der Nervenregung ganz in der Gewalt zu haben braucht man eine besondere Vorrichtung, den Moderator, als Röhre, oben und unten verkorkt und mit Wasser gefüllt. Den oberen Kork geht ein verschiebbarer dicker Draht $e f$, dessen unterem Ende eine Platinscheibchen angelöthet ist. Auf dem unteren Kork sitzt ebenfalls ein Platinscheibchen mit angelegten Drahten, der durch den Kork geht und zu dem Bügel u Venn nun der früher in dem Bügel u befestigte Nebendraht r an dem verschiebbaren Drahte bei f eingeklemmt wird, so kann durch Herausziehen oder Hinabdrücken des letzteren nach Belieben die Nebenschliessung laufenden Strom nach Gefallen abbrechen.

Neeff hat an seinem Magnetelectromotor die merkwürdige Erscheinung gemacht, dass das zwischen Platinspitze und Blättchen erspringende Licht stets auf der Seite des negativen Pols erscheint, in der Weise, dass, wenn der electriche Strom in der Richtung vom Blättchen zur Spitze geht, nur die letztere vom Licht umhüllt erscheint, während sich dasselbe bei umgekehrter Stromrichtung rings um die Spitze auf der Ebene des Blättchens ausbreitet, die Spitze selbst aber dunkel bleibt. Diese Erscheinung, welche nur mit bewaffnetem Auge, und auch dann nur beim Durchgehen schwacher und mässig starker Electricitäten ganz deutlich sichtbar, ist doch so auffallend, dass sie mit Hülfe einer kleinen Loupe Niemanden entgehen kann. Sehr starke Ströme bringen die Platinspitze zum Glühen, wodurch ein nur von der Wärmeentwicklung abhängiger Effect mit dem des rein electriche Lichtes verknüpft wird. Neeff hält für wahrscheinlich, dass, so wie die Wärme am negativen, die Wärmeentwicklung vorzugsweise am positiven Pole auftritt, und sucht diese Ansicht durch verschiedene Versuche zu begründen, über welche man das Nähere findet in Ann. B. 66. S. 414. Entscheidende Versuche darüber liegen jetzt nicht vor.

Die electro-dynamischen Vertheilungsphänomene lassen sich nicht mehr aus dem Ampère'schen Gesetze noch aus den electro-dynamischen Fundamentalgesetzen vorhersehen, dergestalt, dass die Inductionslehre jetzt drei Hauptklassen von Erscheinungen darstellt, deren innerer Zusammenhang bisher nicht nachgewiesen ist. Diese Lücke ist nun vor Kurzem von W. Weber ausgefüllt.

In der jetzt allgemein angenommenen Vorstellungsweise, dass sich in einem jeden Stromelemente gleiche Mengen positiver und negativer Electricität, welche sich in entgegengesetztem Sinne bewegen und dadurch jene unaufhörliche Störung und Wiedertilgung des electriche Gleichgewichtes herbeiführen, die Induction des electriche Stromes nennen. In zweien Stromelementen man insbesondere ins Auge fasst, hat man also vier Wech-

selwirkungen electricer Massen in Betrachtung zu ziehen, abstossende, zwischen den beiden positiven und zwischen den beiden negativen Massen in den Stromelementen, und ziehende, zwischen der positiven Masse in dem ersten und der negativen Masse in dem zweiten, und zwischen der negativen Masse in dem ersten und der positiven in dem zweiten.

Die Resultante dieser Wirkungen würde nach den bekannten electrostatischen Gesetzen Null seyn müssen, weil die gleichen, sich abstossenden Massen, den ungleichartigen, sich anziehenden gleich sind und aus gleicher Entfernung auf einander wirken. Weber hat aber gezeigt, dass, wenn diese Resultante bloss für den Fall der gegenseitigen Ruhe, sondern allgemeine Bewegung beider electricer Massen gegen einander bestimmt werden soll, zu demjenigen Werthe, welchen die electrostatischen Gesetze für die Kraft geben, welche zwei electrische Massen auf einander ausüben, noch eine von ihrer gegenseitigen Bewegung abhängige Ergänzung hinzukommen muss. Um diese Ergänzung ausfindig zu machen, stützte er sich auf die folgenden, einfachen Sätze:

1) Electriche Massen, welche in entgegengesetztem Sinne bewegt werden, wirken schwächer auf einander, als diejenige welche in gleichem Sinne bewegt werden.

2) Zwei electriche Massen wirken desto schwächer (abstossend oder anziehend, je nachdem sie gleichartig oder ungleichartig sind) auf einander, je grösser das Quadrat ihrer relativen Geschwindigkeit ist.

Der erste dieser Sätze geht unmittelbar aus der That sache vor: dass zwei Stromelemente, die in einer geraden Linie mit welcher ihre Richtung zusammenfällt, einander abstossen oder anziehen, je nachdem die Bewegung in gleichem oder entgegengesetztem Sinne stattfindet. Die relative Geschwindigkeit, der Unterschied der absoluten Geschwindigkeit zweier Massen positiv oder negativ, je nachdem dadurch eine gegenseitige Annäherung oder Entfernung bewirkt wird. Diese Verschiedenheit Vorzeichens äussert aber keinen Einfluss auf die Grösse der wechselseitigen Einwirkung. Die Grösse der Kraft muss daher von der geraden Potenz, also zunächst vom Quadrate der relativen Geschwindigkeit abhängig seyn.

Ausgehend von diesen Gesetzen gelangte Weber zu mathematischen Ausdrücken, aus welchem sich die Fundamentalsätze der Electrostatik und Electrodynamik mit gleicher Sicherheit ableiten lassen, während mit derselben inneren Nothwendigkeit ein allgemeines Gesetz der Inductionerscheinungen daraus hervorgeht.

Die Grenzen eines Leitfadens der Experimentalphysik verengen sich, auf diese wichtigen analytischen Untersuchungen, welche das wissenschaftliche Gebäude der Electricitätslehre begründen.

am erst seinen Schlussstein erhalten hat, hier einzugehen. Wir müssen uns deshalb darauf beschränken, die physikalischen Principien derselben hervorgehoben zu haben, während wir hinsichtlich der daraus gezogenen Folgerungen auf die Arbeit selbst verweisen, welche in den Abhandl. bei Begründung der Königl. sächs. Ges. d. Wiss. etc. S. 305, niedergelegt ist.

Von der thierischen Electricität.

466. Eine höchst merkwürdige Quelle electricischer Thätigkeit hat man in dem Organismus mehrerer Fische entdeckt. Mit Sicherheit sind bis jetzt drei Gattungen electricischer Fische bekannt:

Der Zitterrochen (*raja torpedo*), von welchem zwei Spielarten, der gefleckte und der marmorirte in den den europäischen Meeren begränzenden Meeren ziemlich häufig vorkommen und schon den Alten bekannt waren. Der electricische Ursprung ihrer eigenthümlichen Kraft ist aber erst im letzten Drittel des vorigen Jahrhunderts von Walsh nachgewiesen worden. Eine dritte Art ist der brasilianische Zitterrochen (*narcine brasiliensis*).

Der Zitteraal oder Surinam'scheAal (*gymnonotus electricus*) wird in Guiana und hauptsächlich in den kleinen Zuflüssen des Orinoco angetroffen.

Der Zitterwels (*malapterurus* oder *silurus electricus*) lebt an dem oberen Theile des Nils.

Von diesen Fischen ist bis jetzt nur der Zitterrochen und Zitteraal genau untersucht worden. Beide besitzen besondere electricische Organe, bei welchen gewisse allgemeinere und übereinstimmende Structurbedingungen auftreten, die wesentlich die Bestimmung electromotorischer Apparate zu haben scheinen. Sie bestehen aus über einander liegenden, unregelmässigen Prismen oder Säulen von 1—1,5 Linien Dicke und sehr ungleichen Längen, die durch Scheidewände von einander getrennt sind. Jede einzelne Säule ist aus übereinander geschichteten Blättchen zusammengesetzt, zwischen welchen eine gallertartige Flüssigkeit, gleichsam wie in den Zellen eines galvanischen Apparates eingeschlossen ist. Die trennenden feinen Häute oder Blättchen zeigen, unter dem Mikroskope betrachtet, auf ihren beiden Oberflächen zellige Ueberzüge, innerhalb welcher sich Verzweigungen der Blutgefäße so wie der Nervenfasern parallel mit den Oberflächen, also winkelrecht gegen die Längenrichtung der Säulen verlaufen, und zwar beide in verschiedenen Ebenen übereinander, nämlich die Ästen (die Blutgefäße) näher der oberen, die andern (die Nervenfasern) näher der unteren Fläche der Blättchen, dergestalt, dass die gallertartige Flüssigkeit auf der einen Seite einer jeden Zelle zunächst mit Blutgefäßen, auf der anderen Seite mit Nerven substanz in Berührung kommt.

Die Torpedo besitzt zwei solcher Organe, die auf beiden Seiten des Rückrates, in der vorderen Hälfte des Körpers, unmittelbar unter der Haut liegen. Die einzelnen Säulchen sind vom Rücken abwärts gegen den Bauch gerichtet, und die in denselben verlaufenden Nervenverzweigungen sammeln sich zu vier dicken dem Gehirn führenden Strängen.

Der Gymnotus hat vier electricische Organe. Alle ziehen bandartig vom vorderen Theile des Körpers bis zum Ende des Schwanzes hin und erhalten ihre Nervenverzweigungen durch mehrere hundert von dem Rückenmarke auslaufende Fäden. In einzelnen Säulen oder Zellensysteme verfolgen dieselbe Längsrichtung und haben demnach bei dem Gymnonotus eine ungleich beträchtlichere Länge als bei der Torpedo. Zwei von den vier Organen liegen auf beiden Seiten der Wirbelsäule, das andere Paar von geringerer Mächtigkeit darunter.

Der electricische Apparat scheint diesen Thieren von der Natur als Waffe verliehen, sey es zur Vertheidigung, sey es um kleinere Fische, deren sie zu ihrer Nahrung bedürfen, durch den electricischen Schlag zu betäuben oder selbst zu tödten. Sie können sich nach Willkühr, aber nicht, wie man früher geglaubt hat, nach jeder Richtung entladen. Der frisch gefangene, noch ganz kräftige electricische Fisch vermag viele Schläge rasch hintereinander 60—70 in einer Minute zu ertheilen. Eine so häufige Wiederholung entkräftet ihn aber, so dass er endlich unfähig wird, bevor er ausgeruht und sich genährt hat, neue Schläge zu geben. Wenn die Entladungen aufgehört haben, ist es unmöglich im Innern des Organs die geringste Spur von Electricität zu entdecken.

Die electricische Entladung eines Zitterrochen, der noch seine volle Lebenskraft besitzt, kann nach dem Willen des Thieres erfolgen, so wie dasselbe an irgend zweien Punkten gleichzeitig leitend berührt wird. Die stärksten Schläge erhält man aber durch gleichzeitige Berührung des Rückens und Bauches. Die Wirkung pflanzt sich auch auf geringe Entfernungen hin durch das Wasser fort; durch Nichtleiter dagegen, z. B. durch die allerdünnste Luftschicht wird dieselbe vollständig unterbrochen. Berührt man Brust und Rücken mit Silberplatten, die an isolirten Handhaben gehalten werden und mit den Enden eines langen Multiplicatordrahtes verbunden werden; reizt man dann das Thier, indem man z. B. die eine Platte auf seinem Körper reibt, und veranlasst man dadurch eine Entladung, so zeigt sich, so oft diese erfolgt, eine Ablenkung der Magnetnadel. Dabei geht der Strom immer positiv vom Rücken durch den Draht zum Bauch über, so dass also die Rückenseite den positiven Pol, die Bauchseite den negativen Pol einer jeder der kleinen Säulen bildet. Mittelst des Entladungsstroms der Torpedo zersetzte John Davy Wasser, Blei- und Silberlösung, nur in geringer Menge, aber doch deutlich sichtbar. (Pogg. Am

2.) Werden die Silberplatten mit einem langen Schraubenschlüssel verbunden, in dessen Höhlung ein Eisenkern geschoben wird, bringt man dann an irgend einer Stelle der Drahtleitung eine Unterbrechung an, amalgamirt die Drahtenden an der Unterbrechungsstelle und reibt sie an einander, während der Fisch gereizt wird, so bemerkt man bei jeder Entladung einen Funken (Linari; Matteucci).

Die electricische Thätigkeit des Zitterrochens hört nicht auf, wenn die sein electricisches Organ bedeckende Haut entfernt oder die Schichten von der Substanz des Organs selbst abgeschnitten werden. Auch die Richtung des Stroms wird dadurch nicht verändert, wohl aber seine Intensität geschwächt. Ungeachtet der Strom constant als die positive Seite und der Bauch als die negative Seite des electricischen Apparates erscheint, so können sich auch irgend zwei Punkte der Rückenseite oder der Bauchseite vergleichungsweise entgegengesetzt electricisch verhalten. Dies wird aus dem Umstande begreiflich, dass die einzelnen Säulen, welche das Organ bilden, an verschiedenen Stellen aus einer grossen Zahl Zellen zusammengesetzt sind. — Wenn man das Gehirn des Zitterrochens entblösst und den letzten Flügel desselben, den sogenannten electricischen Gehirnlappen, welcher hauptsächlich die Organe der Nerven gibt, sanft berührt, so erfolgen sehr starke Entladungen. Berührt oder verletzt man eine der zu den electricischen Apparate führenden Nervenstränge, so ist die Wirkung nur local. Werden die Nerven des einen Organs durchtrennt, so ist das Thier unfähig, auf dieser Seite sich zu bewegen, während es mit der unverletzten Seite noch Schläge ertheilen kann. Werden alle vom Gehirn zu dem electricischen Organe führenden Nerven durchschnitten, so verliert das Thier gänzlich die Fähigkeit, electricische Wirkungen nach Willkür hervorzubringen. Berührung oder Verletzung des Gehirns bleibt ohne Effect. Dagegen Verletzung eines Nervenstrangs veranlasst in dem Thiere in Verbindung stehenden Theile des Organs, aber auch nur auf dieser Seite, eine deutliche, wenn auch schwache electricische Entladung. Am sichersten lässt sich diess erkennen, wenn man mehrere Schenkel mit blossgelegten Nerven an verschiedenen Stellen des Organs vertheilt. Nur der auf der gereizten Stelle liegende Schenkel (vorausgesetzt, dass zwei Punkte seines Nerven zum electricischen Organe in Berührung standen, und dadurch eine geschlossene Kette bildeten) wird in Zuckungen gerathen. (Phénomènes Electro-Physiol. par C. Matteucci, auch Ann. 39. 485.)

Die electricische Kraft des Zitterrochens ist weit grösser, als die des Menschen. Die ersten Schläge eines noch ungeschwächten, gelben Gymnotus gleichen denen einer grossen Leydner Flasche und wirken so heftige Erschütterungen, dass selbst grössere

Thiere, wie Pferde, dadurch betäubt werden können (Hun Gleichwohl geht der Entladung keine merkliche electricis chnung vorher, und durch jeden schlechten Leiter wird sie u chen. Dem Thiere aufgelegte Metallscheiben mit Drahtv rungen führen den Schlag nur dann zu dem Körper, w metallischen Handhaben mit befeuchteten Händen gefasst Ueberspringen eines Funkens durch die Luft ist nicht ben Wenn aber der durch Induction zweiter Ordnung (näml telst einer Drahtrolle) verstärkte Entladungsstrom durc Eisendraht geht, der gegen die gefurchte Fläche eines rot Stahlcylinders gedrückt wird, so gelingt es leicht, Funke halten. Aus der chemisch zersetzenden Kraft des Stroms i seiner Wirkung auf die Magnetnadel erkennt man, dass Vordertheile des Körpers durch den Draht zum Hintertheil Durch geeignete Verrückungen der auf das Thier gelegten scheiben, mit deren Hülfe der Strom zu dem Multiplicat geleitet wird, ergibt sich, dass jeder Theil des electriche gegen alle vorderen Theile negativ, gegen die hinteren po

Die Schläge des Gymnotus sind am kräftigsten, wenn Hand auf den Körper nahe am Kopfe des Thiers, die an Ende des Schwanzes aufgelegt wird. Je mehr man vor Gränzen aus die Hände einander nähert, um so schwäch sich die Wirkung. Der Schlag wirkt auf beträchtliche Ent hin durch das Wasser, wenn der Körper des Fisches ger gestreckt liegt und die Hände mit demselben gleichlauf eine näher dem Kopfe, die andere näher dem Schwanz taucht werden. Werden sie dagegen, die Längenricht Thiers rechtwinklig durchkreuzend eingetaucht, so spürt i nichts; in jeder andern Lage eine mehr oder weniger sta wirkung. Hieraus geht deutlich hervor, dass im Augenbl Entladung die Electricität sich nicht bloss von den End sondern von allen Stellen des Organs in das Wasser ergi folglich in der ganzen Umgebung des Thiers, von jedem b Leiter theilweise aufgenommen werden muss. Der Zitteraal sich seiner eigenthümlichen Kraft, so wie auch der Stelle, dieselbe am stärksten äussert, genau bewusst zu seyn, d hat bemerkt, dass er, um kleine Fische durch den Sc tödten, rasch seinen Körper in Gestalt eines Rings um seit zu biegen sucht. (Faraday in Pogg. Ann. Ergänzungsab.

467. So gross die Aehnlichkeit ist zwischen dem elec Apparate dieser Fische und einer galvanischen Säule, die i vielen Elementen zusammengesetzt ist und grosse Wide zu überwinden hat, so lässt sich doch die Vergleichung sächlich aus dem Grunde nicht durchführen, weil der Schla electriche Fisches nicht unbedingt bei geeigneter Bei desselben stattfindet, sondern von dem Willen des Thie

Der augenscheinliche Einfluss, welchen Gehirn und Nerven die Ladung des electricischen Organs ausüben, die gänzliche Abwesenheit von Electricität in diesem Organe sobald als jene abgelaufen sind, lässt kaum mehr bezweifeln, dass man die wahre Ursache der Schläge in einer eigenthümlichen Nerventhätigkeit suchen habe, während das electricische Organ nur einen Verknüpfungsapparat bildet, vielleicht ähnlich der Poggendorff'schen Inductionssäule (387), und bestimmt die electromotorische Kraft des Stromes zu erhöhen, der aus einer mittelbar oder unmittelbar in den Nerven liegenden Electricitätsquelle von verhältnissmäßig sehr niederer Spannung zugeführt wird. Hierdurch wird die Frage über das Wesen der thierischen Electricität in gewisser Hinsicht wieder auf den Standpunct zurückgewiesen, zu welchem Volta durch Galvani gelangt war.

Galvani glaubte bekanntlich aus seinen Beobachtungen die Folgerung ziehen zu müssen, dass das Gehirn der Thiere die Ursache einer eigenthümlichen Electricität sey, welche durch Verknüpfung der Nerven in allen übrigen Theilen des Körpers verbreitet werden könne. Die Muskeln betrachtete er als Behälter, in welchen sich jenes Fluidum, die Nervenelectricität, ähnlich wie die Electricität der Maschine in einer Leydner Flasche, ansammeln könne. Im Verlaufe des so berühmt gewordenen wissenschaftlichen Streites mit Volta, zu dem diese Vorstellungen führten, erstrebte Galvani einen schlagenden Beweis für seine Ansicht gegen die Richtigkeit der Contacttheorie gewinnen zu können, wenn es ihm gelänge, in dem präparirten Froschschenkel den electricischen Strom unabhängig von jedem metallischen Einwirkungspuncte nachzuweisen. Es glückte ihm durch Zurückbiegen des Schenkel gegen die aus dem Schenkel hervortretenden Nerven. So nämlich auf diese Weise der Froschschenkel zu einer in sich selbst zurückkehrenden Kette geschlossen wurde, zeigten sich Contractionen. Seinen eigentlichen Zweck vermochte Galvani jedoch nicht zu erreichen, indem sein Gegner überzeugende Beweise beibrachte, dass in dem geschlossenen Schenkel die weichen Bedingungen einer Volta'schen Kette, welche die Gegenwart metallischer Leiter keineswegs als unumgänglich erforderlich vereinigt waren.

Der Strom des Froschschenkels ist späterhin von Nobili galvanometrisch untersucht worden. Er fand, dass die positive Electricität sich in der Richtung von dem Fusse nach dem Kopfe des Thieres, oder vielleicht bezeichnender, von der Aussenseite der Schenkel durch das Innere des Schenkels zu den Nerven bewegt. Solche electricische Strömungen durch Berührung von Nerv und Muskel hat man bei anderen Thieren bis jetzt nicht beobachtet. Gegen hat man gefunden, dass in dem Körper aller lebenden Thiere, warmblütiger wie kaltblütiger, bei vielen sogar noch einige

Zeit nach dem Tode, Electricität erregt werden kann, wenn man den äusseren mit dem inneren Theile eines Muskels unter Umständen in Verbindung setzt, wobei irgend fremde Einflüsse in keiner Weise sich geltend machen können. Wird z. B. in den Muskel irgend eines Thieres (eines Frosches, eines Kaninchens, einer Taube) ein Einschnitt gemacht, dann der Rand der Wunde mit einem Punkte, das Innere derselben mit einem andern Punkte des blossgelegten Nervs eines präparirten Froschschenkels in Berührung gebracht, so geräth derselbe in Zuckungen. Dieser Muskelstrom lässt sich mit dem Galvanometer gleichfalls nachweisen; man findet, dass er vom Inneren, d. h. von der blutenden Stelle, durch die Muskelmasse zu der Aussenfläche seinen Lauf nimmt. Matteucci ist es gelungen, eine Art electricer Säule aus Blut und Muskeln zusammenzusetzen, indem er mehrere präparirte Froschschenkel in Stücke zerschnitt und diese auf einer Glasscheibe so an einander reihete, dass immer die Schnittfläche eines Stückes mit der Aussenfläche des nächstfolgenden in Berührung kam. Aehnliche Versuche mit Muskel - Abschnitten verschiedener anderer Thiere gelangen eben so gut.

Durch alle diese Beobachtungen über das Auftreten electricer Erscheinungen im Blute, in den Muskeln und Nerven; Beobachtungen, welche man in der neuesten Zeit durch sehr zahlreiche und oft sehr grausame Experimente zu vervollständigen und zu erweitern sich beflüssigt hat, so werthvoll dieselben in physiologischer Beziehung vielleicht seyn mögen, ist die Physik und unsere Einsicht in die Natur der thierischen Electricität bis jetzt unwesentlich gefördert worden.

Seitdem Volta gezeigt hat, dass die Bedingungen zur Entstehung eines electricen Stroms gegeben sind, so oft drei verschiedenartige, die Electricität leitende Körper, von welchen wenigstens einer chemisch zerlegbar und am besten eine Flüssigkeit ist, in Berührung kommen, kann es in der That nicht mehr anfallen, dass in gewissen Fällen auch im thierischen Körper oder in Theilen desselben electriche Ströme auftreten. Vielmehr würde das Gegentheil befremden müssen.

Man weiss z. B., dass die Flüssigkeit in den Adern (das Blut) gewöhnlich alkalisch, dass dagegen die Flüssigkeit ausserhalb der Blutkanäle stark sauer reagirt. Wenn also an der Berührungsfläche von Adern und Muskeln und unter der Bedingung einer geschlossenen Leitung ein Strom in der Richtung vom Blut zum Muskel entsteht, so ist diess eigentlich nichts Anderes, als was man nach dem bekannten electricen Verhalten der Alkalien und Säuren gegen einander, im Voraus erwarten musste. Mit gleichem Rechte kann man erwarten, dass an der Berührungsstelle des Blutes mit der neutralen oder sehr schwach sauren Substanz der Nerven, das Streben zur Bildung eines Stroms vom Blute zu den Nerven,

da, wo sich Nerv und Muskel berühren, vom ersteren zu dem andern vorhanden ist. Dem Lebensprozesse kann man bei dieser Klasse von Erscheinungen, so weit sie bis jetzt studirt sind, mit Sicherheit keinen andern Einfluss beimessen, als den in physikalischer Beziehung nur untergeordneten, die verschiedenen, die electrische Kette bildenden Stoffe im Anfangszustande zu erhalten; vielmehr diesen Zustand, sowie er sich ändert, immer wieder erneuern.

Einen neuen höchst wichtigen Beitrag zur Lehre von der thierischen Electricität verdankt man Du Bois-Reymond durch die Entdeckung, dass der vom Inneren zur Aussenfläche (oder, wie Du Bois-Reymond bestimmter sich ausdrückt, vom Querschnitt des Längenschnitt) des Froschmuskels oder eines Nerven, und so durch den Galvanometerdraht cirkulirende, allmählig fast bedingte Strom, plötzlich vermindert und sogar zum Stillstand gebracht werden kann, wenn man den Strom erzeugenden Muskel oder Nerv durch electricische Reizung, oder auch auf andere Weise in den Starrkrampf versetzt. Du Bois-Reymond wurde durch diese Thatsache auf den Gedanken geleitet, dass der thierischen Organismus bestehende electricische Gleichgewichtsverhältnisse allein schon durch einseitige Anspannung gewisser Muskeln, während andere unthätig bleiben, gestört werden müssen. Erfolgreich gelang es ihm diese Folgerung durch den Versuch zu bestätigen. Er verband die Enden eines sehr langen Multiplicatorstromkreises mit Platinstreifen von durchaus gleichartiger Beschaffenheit und tauchte dieselben in zwei, concentrirte Kochsalzlösung enthaltende Gefässe. Als er dann einen gleichnamigen Finger seiner Hand in eines dieser Gefässe eintauchte, und sobald die Nadel aus der Ruhelage war, die eine Hand, Arm und Seite des Körpers möglichst unthätig anstrengte, entstand ein Strom in der Richtung von der gespannten Hand zur Schulter. Durch ähnliches Anziehen der andern Hand, während nunmehr die erstere unthätig blieb, wich die Nadel nach der entgegengesetzten Seite aus. Die Grösse des Ausschlags hängt von der Empfindlichkeit des Instrumentes und der Stärke der Muskelanstrengung ab.

Dieser merkwürdige Versuch ist seitdem vielfältig wiederholt bestätigt worden. Auch hat man gefunden, dass die Wirkung verstärkt werden kann, wenn er von mehreren Personen zugleich ausgeführt wird, die sich mit befeuchteten (zuvor durch Waschen mit Seife sorgfältig gereinigten) Händen zu einer Kette verbinden, deren beide Endglieder, je durch Eintauchen eines Fingers in ein Gefässe mit Salzwasser, den Einschluss des Galvanometerstromkreises bewerkstelligen. Alle spannen dann gleichzeitig eine gleichnamige Hand, z. B. die rechte.

68. Auch in dem Fortgange des Pflanzenlebens will man von electricischer Erregung bemerkt haben. Pouillet liess in
 29

isolirten Gefässen, welche mit der oberen Platte eines Condensators leitend verbunden waren, dessen untere Platte zu dem Boden führte, verschiedene Pflanzen aufkeimen und wachsen. Sobald die Keime die Erde der Gefässe durchbrachen und ihre Spitzen erhoben, sammelte sich die negative Electricität in der oberen Condensatorplatte, und diese Erscheinung dauerte fort bei Tag und bei Nacht, so lange die umgebende Luft hinlänglich trocken blieb. Pouillet glaubt diese Electricitäts-Entwicklung der chemischen Einwirkung der wachsenden Pflanzen auf die Luft zuschreiben zu müssen und verknüpft sie mit den bei vielen andern chemischen Vorgängen (namentlich dem Verbrennungsprozesse und der Verdampfung wässeriger Lösungen) von andern Physikern sowohl wie von ihm selbst beobachteten electricischen Ausscheidungen (337), wobei gewöhnlich positive Electricität in die Luft entwichen, negative von der Erde aufgenommen werden soll. (Pogg. Ann. 11. 417 und 442.)

Alle diese Erfahrungen und besonders die daraus gezogenen Folgerungen bedürfen indessen noch sehr der Bestätigung. Die Electricitätserregung durch den Vegetationsprozess konnte Reich (P. A. 69. 288), der Pouillet's Versuche wiederholte, nicht erkennen. — Dass während der Verbrennung kohlenstoffhaltige Körper in gewissen Fällen eine Störung des electricischen Gleichgewichts stattfindet, ist allerdings richtig, allein diese Erscheinung steht in keiner unmittelbaren und wesentlichen Beziehung zu chemischen Vorgänge, sondern beruht, wie neuerdings auch bestimmt nachgewiesen ist, auf thermoelectricischen Erregung. (Annal. Chem. und Pharm. LXXX. 1.)

Was insbesondere die electricischen Erscheinungen betrifft, welche bei den durch Verdampfung bewirkten chemischen Zusammensetzungen auftreten, so hat Reich (Abhandl. bei Begründung des sächsischen Ges. d. Wiss. S. 199) in hohem Grade wahrscheinlich gemacht, dass dieselben ausschliesslich nur bei tumultuarischer Verdampfung entstehen und dass sie in diesem Falle stets von einer Reibung zerstäubter Wassertheilchen an den Wänden der Gefässe abstammen. Bei der langsamen Verdampfung hat man Anwendung weder von reinem Wasser noch von wässrigen Lösungen eine electricische Erregung mit Sicherheit nachzuweisen vermocht.

Ueber den magnetischen Zustand aller Körper.

469. Faraday, dessen Forschungsgeiste die Lehre der Electricität und des Magnetismus schon so zahlreiche und so wichtige Beiträge verdankt, hat im Jahre 1845 eine neue magnetische Eigenschaft der Materie entdeckt, die seitdem sowohl ihm selbst, wie von andern Physikern aufs eifrigste näher

den ist. Er fand, dass die Pole eines sehr starken Electromagnets fast auf jeden Körper, der in ihrer Nähe an einem unelastischen Faden aufgehängt wurde, einen mehr oder weniger Einfluss ausübten. Diese Einwirkung zeigt sich in verschiedenen Körpern nicht nur in der Stärke, sondern auch nach Art und Weise verschieden. In letzterer Beziehung theilt er die Körper in zwei Klassen, welche er durch die Bezeichnungen magnetische und diamagnetische Stoffe unter-

teilt. Die magnetischen Theile eines magnetischen Körpers werden von den Polen des Electromagnets, welchem sie zunächst stehen, angezogen, ob es der positive oder ob es der negative sey, und zwar geht die Resultante dieser Anziehungen bei einem geringem Umfange und regelmässiger Gestalt (sofern die magnetischen Theile beiläufig gleichweit von dem Pole entfernt sind) durch den Schwerpunct ihrer Masse.

Die diamagnetischen Theile eines diamagnetischen Körpers werden von den Polen des Electromagnets abgestossen, und auch diese Abstossung ist, bei beiläufig gleichem Abstände der abgestossenen Theile von dem abstossenden Pole, gegen den Schwerpunct gerichtet.

Zur ersten Klasse gehören, ausser den schon als magnetische Stoffe bezeichneten Eisen, Nickel und Kobalt, noch ferner Chrom, Cerium, Titan, Palladium, Platin, Osmium, Aluminium, sowie eine grosse Anzahl der Verbindungen die die meisten derselben sogar im aufgelösten Zustande. Zur zweiten Klasse gehören die meisten übrigen Körper, sowohl die einfachen als die zusammengesetzten, Leiter wie Nichtleiter der Electricität: Wismuth, Antimon, Zink, Cadmium, Natrium, Quecksilber, Blei, Silber, Kupfer, Gold, Platin, Rhodium, Iridium, Wolfram, Phosphor, Stickstoff, Schwefel, Wasserstoff. Besonders stark diamagnetisch sind das Wismuth, Antimon, Zinn, den Phosphor, das Quarzglas und überhaupt schweres und eisenfreies Glas. In weit

geringerem Grade zeigten diese Eigenschaft Harz, Wachs, Holz, Terpentinöl, Wasser, Aether, Alkohol.

Die diamagnetischen Körper sind mit magnetischen Körpern verbunden, so dass sie durch die magnetische Kraft ihr eigenthümliches Verhalten, so dass je nach den Umständen bald die magnetische, bald die diamagnetische Eigenschaft vorherrscht, bald beide verschwinden. So sind die Lösungen eines Eisen- oder Mangansalzes in Wasser bei gewisser Verdünnung neutral, bei stärkerer Verdünnung diamagnetisch, während die concentrirteren Lösungen derselben Salze sich entschieden magnetisch verhalten. Das grüne Bouteillen-Glas und auch das gewöhnliche sind wegen ihres Eisengehaltes magnetisch, ungeachtet die gewöhnliche Glasmasse schwach diamagnetisch ist. Ueberhaupt

herrscht die gewöhnliche Magnetkraft fast in allen Verbindungen der magnetischen Metalle mit nicht magnetischen Körpern. Dagegen erhielt Faraday in keiner Verbindung diamagnetische Metalle unter einander oder mit nicht metallischen Stoffen die geringste Anzeige der gewöhnlichen Magnetkraft.

Durch Temperaturerhöhung wird bekanntlich die Fähigkeit Eisens, Nickels und Kobalts vom Magnete angezogen zu werden vermindert. Faraday fand jedoch keinen Körper, der sich durch Erhöhung der Temperatur verschieden magnetischer Beschaffenheit, durch Temperaturerhöhung diese Eigenschaft ganz und gar verlor; eben so wenig konnte ein diamagnetischer durch Erniedrigung der Temperatur magnetisch gemacht werden.

Wurde ein kleiner Würfel von Wismuth oder Flintglas zwischen beiden Polen eines hufeisenförmigen Electromagnets und genau in der Mitte der geraden Verbindungslinie beider Pole hängt, so zeigte sich weder beim Schliessen noch beim Öffnen der electricen Kette irgend eine Einwirkung. Näherte man sich aber mehr dem einen oder andern Pole, so zeigte sich die Abstoßung von dieser Seite her in demselben Augenblicke, da die Kette geschlossen wurde. Sie hielt an, so lange als der Magnetismus blieb. Befand sich der aufgehängte Körper etwas rechts oder links von der Verbindungslinie, so wurde er durch die zeitig von beiden Polen ausgehende Abstoßung in die Richtung noch weiter entfernt. Hing man zwei Würfel nebeneinander, den einen rechts, den andern links von der Verbindungslinie, so entfernten sich beide von einander, sobald die Kette schloss, ganz so als ob sie sich wechselseitig abstoßen hätten. Stellte man beide Würfel genau in die Verbindungslinie der Pole, den einen näher dem positiven, den andern dem negativen Pole, so hatte es ganz den Anschein, als ob sie wechselseitig anzögen. Die folgenden Erscheinungen lassen sich leicht aus den soeben betrachteten. Wenn ein Körper, dem die Längendimension vorherrscht, in der Mitte zwischen den Polen des Electromagnets so aufgehängt wird, dass die Verbindungslinie der Pole durchschneidet, so wird er nach dem Schliessen der Kette der Klasse der magnetischen oder derjenigen diamagnetischen Stoffe angehört, längs der Verbindungslinie stehen, oder eine Stellung winkelrecht gegen diese Richtung annehmen streben. Welches Ende des Körpers sich nach der einen oder andern Seite kehren werde, hängt nur von dem Umstande seiner anfänglichen Stellung ab. Dieses Verhalten ist das Resultat des Bestrebens der dem Einflusse der Magnetkraft unterworfenen Theilchen, sich in die Lage zu begeben, in welcher ihr Drehungsmoment Null wird. Es ist hinsichtlich der diamagnetischen Körper ganz analog dem eines Stabes von Eisen, der zwischen beiden Polen aufgehängt wird. Nur d

rke womit ein Stab oder ein längliches Stück aus irgend
ndern magnetischen Materie Richtung nimmt, macht einen
chied. Es werde z. B. ein Rohr aus dünnem Glase und wie
Fig. 210.

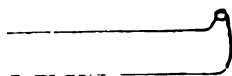


Fig. 210 gestaltet mit einer Auflösung
von schwefelsaurem Eisen oder schwefel-
saurem Mangan gefüllt und mittelst
eines Papierbügels auf die beschriebene
Weise aufgehängt. Gesetzt die Län-

gung des Rohrs bilde anfangs mit der Verbindungslinie der
gend einen spitzen Winkel. Man schliesse die Kette, so
wird sich das Rohr in Bewegung setzen und nach einigen
gungen sich in die Verbindungslinie stellen. Entfernt man
dieser Stellung, so kehrt es wieder in dieselbe zurück. —
man statt einer der genannten Lösungen reines Wasser
ne Auflösung von Kupfer oder Silber oder irgend eines an-
magnetischen Metalls in das Rohr, so stellt es sich win-
t gegen die Verbindungslinie., Eben so würde sich ein
en von Wismuth oder Antimon oder Flintglas u. s. w. das
den Papierbügel schiebt, verhalten.

isst man einen Körper von geringer magnetischer Kraft in
Mittel schwingen das stärker magnetisch ist, z. B. einen
Stab von Platin oder eisenhaltigem Glas, oder auch eine
nte Lösung von Eisenvitriol in einer sehr viel concentrir-
terselben Verbindung, so richtet sich der schwächer magne-
Körper winkelrecht gegen die Magnetaxe oder äquatorial,
enn er diamagnetisch wäre; er wird nämlich aus der Stel-
rallel mit der Axe, der axialen Stellung verdrängt, weil
bergewicht der magnetischen Wirksamkeit gegen seine
ung gerichtet ist. Da nun auch die Gase dem magnetischen
se gehorchen, so lässt sich die wahre magnetische Natur
Körpers mit Sicherheit nur im leeren Raume erkennen.
m das Verhalten eines gasförmigen Körpers zu beobachten,
man Seifenblasen damit bilden. Man wird dann finden,
eine mit Sauerstoff gefüllte Blase angezogen, eine mit
rstoff, Stickstoff, Kohlensäure oder irgend einem anderen
usser Sauerstoff und Luft gefüllte abgestossen wird, wäh-
eine Luftblase sich ganz neutral verhält. In einer Atmos-
von Wasserstoff würde aber auch die Luftblase, wegen ihres
stoffgehaltes angezogen werden.

Fig. 211.



Auf dem folgenden von Faraday
eingeschlagenen Wege lässt sich das
Verhalten der Gase unabhängig von
der sie umschliessenden Hülle ver-
gleichen. Ein leichtes Stäbchen *ab* (Fig.
211) ist bei *o* an einem langen Seiden-
faden aufgehängt, um welchen sich die

beiden Arme ob und oa in wagerechter Lage im Gleichgewicht halten. Am einen Ende a dieses Wagebalkens sitzt ein Querstück de an dessen Endpunkten cylindrische Röhren aus demselben dünnen Glase gebildet herabhängen. Diese Röhren können nach Belieben mit demselben oder auch mit verschiedenen Gasen gefüllt werden. Gesezt beide sind äquatorial zu den Polen des Electromagnets gestellt, die eine rechts, die andere links von der Magnetaxe. Beide enthalten Sauerstoff von gleicher Temperatur und Dichtigkeit, so zeigt sich nicht die geringste Einwirkung. Ist aber das Gas in dem einen Rohr dichter als in dem andern, so wird das dichtere angezogen, das andere fortgetrieben. Ist das eine luftlos oder mit Stickstoff oder Wasserstoff gefüllt, während das andere Sauerstoff enthält, so wird das letztere gegen die Magnetaxe gezogen, das andere fortgetrieben.

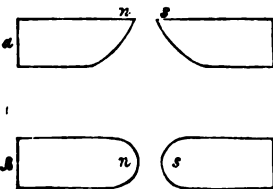
Das Gelingen dieser Versuche erheischt sehr kräftige Electromagnete, auf deren Pole konisch zugespitzte Ansätze von weichem Eisen ruhen, die mit den Spitzen zusammenstossen, ungefähr so wie Fig. 212 andeutet. Auf der Seite

Fig. 212.



hängt dann das eine Glasrohr, bei b das andere herab. Die Schwingungsversuche erfordern sehr

Fig. 213.



kräftige Ansätze ungefähr von der Form wie Figur 213, a in der Seitenansicht, von oben zeigt (sogenannte Halbkugeln), welche auf die Magnetpole gelegt werden, und deren Spitzen n und s einander um so näher gerückt werden müssen, je unempfindlicher gegen die magnetische Einwirkung der zu untersuchen gebrachte Körper sich zeigt.

Der Diamagnetismus gasförmiger Körper wird durch Temperaturerhöhung gesteigert. Hierauf beruht ein sehr merkwürdiges Verhalten der Flammen zwischen den einander sehr nahe gerückten Polspitzen n und s . Bringt man z. B. eine gewöhnliche Kohlenflamme nahe unter die beiden Polenden, so dass sie zwischen beiden frei aufsteigen kann, so wird sie sich in demselben Augenblicke, da man die Kette schliesst in zwei Aeste spalten, von welchen der eine rechts der andere links von der Verbindungslinie der Polspitzen sich erhebt. Dabei verschwindet der Eindruck der Hitze zwischen beiden Aesten so vollkommen, dass Phosphor nicht mehr entzündet wird, Wachs nicht schmilzt. Dies geschieht jedoch sogleich, so wie man die Kette unterbricht und die Flamme ihre frühere Gestalt wieder annimmt. Wird in ähnlicher Weise wie vorher die Flamme, ein glimmendes Rauchkerzchen unter die Polenden gestellt, so theilt sich der aufsteigende Rauch alsbald in zwei Säulen, die eine rechts, die andere links von der Magnetaxe

Die magnetische gleich wie die diamagnetische Richtkraft vertheilt sich bei der Mehrzahl der Körper nur als ein sehr kleiner Theil von derjenigen Kraft, welche sich in Eisen, Nickel und Stahl entwickeln lässt. Bei solchen Körpern die nach verschiedenen Richtungen eine ungleiche Dichtigkeit besitzen, sei es durch natürlichen Vorkommen oder durch Zusammendrückung, ist die Richtkraft, wie Knoblauch und Tyndall bewiesen haben, in der grösseren Dichtigkeit vorherrschend, in dem Grade, in dem diese Richtung, auch wenn sie nicht mit derjenigen der grössten Länge zusammenfällt, gleichwohl bei magnetischen Körpern vorzugsweise axial, bei diamagnetischen vorzugsweise equatorial gestellt wird. Hieraus erklärt sich eine sehr eigenthümliche, zuerst von Plücker beobachtete Erscheinung der einaxialen und zweiaxialen Krystalle, deren Theilchen bekanntlich in der Richtung, gleichlaufend mit der Axe einander näher stehen, als in jeder andern Richtung. Die einaxialen Krystalle zeigen nämlich eine vorherrschende Richtkraft parallel mit ihrer Axe, die zweiaxialen aber, nach der Mittellinie zwischen ihren beiden Axen. Plücker hat darauf aufmerksam gemacht, dass man durch dieses Verhalten in den Stand gesetzt ist, an völlig undurchsichtigen Krystallen, selbst wenn ihre äussere Form völlig verwischt ist, die Richtung der Axe zu bestimmen.

Die Bemühungen der Physiker den inneren Zusammenhang zwischen diamagnetischen mit den magnetischen Erscheinungen aufzuklären, haben bis jetzt zu keinem befriedigenden Resultate geführt. Selbst hinsichtlich der Frage, ob diamagnetische Körper sich gegen die magnetischen, die Fähigkeit besitzen, Polarität anzunehmen, herrschen noch Zweifel. Den Fall angenommen, dass sie sich gegen die Magnetpolen ebenfalls polarisch werden, so würde es folgen müssen, dass, während magnetische Körper an dem dem Magnetpol zunächst liegenden Ende einen ungleichnamigen Pol erhalten, in diamagnetischen Körpern unter denselben Umständen ein gleichnamiger Pol hervorgerufen werde.

IX. Von den Wasserwellen.

470. Wenn der Spiegel eines Wasserbeckens an irgend einem Punkte erschüttert wird, z. B. durch Hineinwerfen eines Steins, oder durch Berühren des Fingers, oder indem man einen Theil des Wassers mittelst eines weiten Glasrohrs aufsaugt und wieder zurücklassen lässt, so pflanzt sich diese Störung ringsum über die ganze Fläche fort.

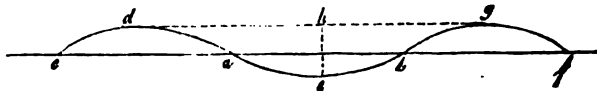
Man bemerkt zunächst über der erschütterten Stelle als Mittelstadium eine ringförmige Erhebung und gleich darauf eine ringförmige

mige Vertiefung, die beide in concentrischen, also immer grösser werdenden Kreisen fortschreiten. Diese Erscheinung wiederholt sich mehrmals in unmittelbarer Folge, aber mit abnehmender Stärke von der Erzeugungsstelle aus. Endlich tritt an diesen Punkte Ruhe und Ebenheit des Wassers ein und diese Ebene vergrössert sich mehr und mehr, indem sie gleichsam der letzten zirkelförmigen, wallartigen Erhebung nachrückt.

Jede solche Erhebung des Wassers nennt man einen Wellenberg, die darauf folgende Vertiefung, ein Wellenthal. Beide zusammen bilden eine Welle.

Die Figur 214 zeigt einen Durchschnitt der fortschreitenden Welle, radial von der Erzeugungsstelle aus. Die Linie cab be-

Fig. 214.



zeichnet die Höhe des Wasserspiegels, über welchem sich der Wellenberg cda um eben so viel erhebt, als sich das Wellenthal aeb darunter senkt. Die Summe der Erhebung und Senkung, die Linie he , nennt man die Höhe der Welle, die Entfernung cb ihre Breite, zuweilen auch ihre Länge. Gewöhnlich versteht man bei den Wasserwellen- unter Länge, die Ausdehnung rechtwinklig auf die Breite, solcher nebeneinander liegender Theilchen, die sich mit gleicher Geschwindigkeit zu bewegen scheinen. Die Länge in diesem Sinne genommen, kann eine gerade oder gekrümmte Linie sein. Es ist klar, dass bei ringförmigen Wellen, die von einem gemeinschaftlichen Centrum ausgehen, die Länge (für den Kreisumfang) sich fortwährend vergrössert. Zugleich nimmt aber auch ihre Breite zu und die Höhe vermindert sich, so dass auf unbegrenzter, übrigens ruhender Wasserfläche die fortschreitenden Wellen endlich dem Auge unmerklich werden.

Verführt durch den ersten Anblick der Erscheinung möchte man glauben, dass die Welle über die Fläche des Wassers hin gleite. Man erkennt jedoch den Irrthum leicht aus dem Umstande, dass schwimmende Körper von der fortschreitenden Welle nicht mitgerissen werden, sondern ohne wesentlich fortzurücken, nur auf und nieder bewegen. Der Charakter der Welle besteht also eben so wenig in einem wiederholten senkrechten Aufsteigen und Niedersinken derselben Wassertheile, welches voraussetzen würde, dass Berg und Thal sich immer an derselben Stelle wieder erzeugen müssten. Es findet vielmehr ein stetiges Fortrücken des Gipfels des Berges wie der Tiefe des Thales statt, durch alle Punkte einer geraden Linie, die man in der Richtung der Breite gezogen denkt; zu vergleichen etwa der fortrückenden Bewegung eines über eine wagerechte Fläche ausgebreiteten Tuches.

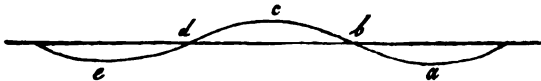
er welchem eine Walze vorwärts gerollt wird. Gerade so wie Biegung des Tuchs ist auch der vordere Theil des fortgehenden Wellenbergs im Steigen, der hintere Theil Sinken begriffen.

Sehr deutlich lässt sich die Natur der Welle mit Hilfe eines langen, schmalen Behälters (Fig. 1. Pl V.) erkennen, dessen Seitenwände aus Glasplatten bestehen. Die Länge desselben beträgt 5 — 6 Par. Fuss, die Tiefe 8 — 10 die Breite nur 6 — 7 Linien. Boden und Seiten sind von Holz, in welches Glasscheiben dicht eingefügt werden müssen, damit kein Wasser durchgehe. Ein solches Behälter wird Wellenrinne genannt.

Man fülle die Wellenrinne zu $\frac{2}{3}$ ihrer Höhe mit Wasser an, ziehe mittelst eines Glasrohrs, dessen Weite der des Behälters gleich kommt, am Ende derselben, eine Wassersäule hervor und lasse sie, wenn der Spiegel wieder gefallen ist, plötzlich herabsinken. Man sieht dann die erregte Welle im rechten Durchschnitte; man erkennt auf den ersten Blick, dass die obere gebogene Oberfläche des Wellenbergs so wie die concave des Wellenbergs ohne einen in die Augen fallenden Gränzpunct in einander übergehen; man kann ohne grosse Mühe das Fortschreiten des Gipfels der ganzen Rinne verfolgen, das Anprallen am andern Ende, den Rücklauf der Welle, ihre Breite beim Steigen über und Sinken unter die ursprüngliche Wasserhöhe beobachten.

Wenn man eine Schiefertafel in das Wasser, so dass ein darauf angelegter gerader Strich eben die ruhende Wasseroberfläche berührt und erregt dann die Welle, so zeigt der benetzte Theil der Tafel über dem Striche, die Höhe des Wellenbergs. Dieser benetzte Theil hat aber nicht etwa die gebogene Gestalt der Welle, sondern seine obere Begrenzung ist eine gerade wagerechte Linie. Hieraus ergibt sich nun aufs deutlichste, dass der Wellenberg in steter Ortsbewegung längs der ganzen Tafel vorübergegangen ist. Sein Vorder-

Fig. 215.



theil *abc* (Fig. 215) muss folglich während des Fortschreitens der Welle immerwährend im Aufsteigen, sein Hintertheil *cde* im Niedersinken begriffen

sein. Durch den Druck dieses niedersinkenden Theils wird nicht nur das Erheben des Vordertheils bedingt, sondern auch im glatten Wasser der Welle stets eine neue Welle erzeugt, die dann wie die erstere fortgeht und wieder andere Wellen hinter sich bildet, deren Grösse jedoch allmählich abnimmt. So kommt es, dass einer erregten Welle immer eine Reihe anderer nachfolgen, bevor die Wasseroberfläche sich wieder ganz beruhigt.

471. Wir haben bis jetzt nur das Auftreten der Welle an der Oberfläche des Wassers betrachtet. Die Wellenbildung ist jedoch eine Erscheinung, die sehr tief und vielleicht in allen Fällen bis zum Boden der Wasserbehälter eindringt. Wenn man ein an den Glaswänden anschliessendes Brettstück, an beliebiger Stelle der Wellenrinne senkrecht und nach und nach zu verschiedenen Tiefen unter den Wasserspiegel einschiebt, dann an einem Orte der Rinne eine Welle erregt, so wird sich dieselbe trotz der

Die besten Untersuchungen über den Zusammenhang der äusseren Erscheinung der Wasserwellen mit den schwingenden Bewegungen der Wassertheilchen verdankt man den Brüdern Wilhelm und Heinrich Ernst Weber, deren grösserem Werke: Wellenlehre auf Experimente gegründete vorliegende Darstellung geschöpft ist.

Die Fig. 2 Pl. V. gibt ein anschauliches Bild des Vorgangs im Innern der Welle. Die Linie *ABCDEF*, bezeichnet die Gestalt der Welle an der Oberfläche. Die punctirten Kreise *A, B, C, D* u. s. w. stellen die Schwingungsbahnen gleichnamigen Theilchen an der Oberfläche vor, die Pfeile die Richtungen der gleichzeitigen Bewegungen der obersten sowohl wie der tiefsten Theilchen. Wenn die Wassertheilchen gleichzeitig die durch die Pfeile bezeichneten Wegestrecken beschrieben haben, ist der Gipfel des Wellenbergs nach *e* fortgerückt.

Aus der Richtung der Bewegung eines jeden Theilchens in seiner Bahn, die dem Vordertheile der Welle allemal aus einer wagerechten und aufsteigenden bei dem Hintertheile aus einer wagerechten und senkrecht niedergehenden zusammengesetzt ist, ersieht man leicht, warum der Vordertheil einer jeden Welle im Steigen, der Hintertheil im Sinken begriffen ist.

Die senkrechte Höhe der Schwingungsbahn der an der Oberfläche des Wassers befindlichen Theilchen gibt die Höhe der Welle. In der Zeit, in welcher ein Theilchen eine halbe Schwingung vollendet, erhebt es sich vom tiefsten bis zum höchsten Punkte oder umgekehrt. Die ganze Schwingungszeit entspricht der Zeit des Fortrückens der Welle um eine Wellenbreite. Gebrüder Weber bemerkten, dass die schwingenden Bewegungen derselben Theilchen sich mehrmals wiederholten ohne sich zu hindern. Hierdurch begreift sich die rasche Hintereinanderfolge mehrerer Wellen an derselben Stelle und das gleichmässige Fortschreiten derselben immer in demselben Sinne.

Es gelang die Zeit zu messen, während deren Verlauf eine gewisse Anzahl, z. B. 3 oder 4 Schwingungen desselben Theilchens vollendet wurden, und hieraus liess sich dann wieder die Höhe der Welle ableiten. Denn diese wird gefunden, indem man während einer bestimmten Zeit durch die Welle zurückgelegten Weg durch die Anzahl Schwingungen dividirt, welche ein flüssiges Theilchen in derselben Zeit vollendete.

Die Breite der Wellen in der Rinne vergrössert sich allmählich mit Unkosten ihrer Höhe, jedoch ohne dass die Geschwindigkeit des Fortschreitens sich ändert. Man darf hieraus schliessen, dass die bewegende Kraft unverändert bleibt, und dass sich die Welle wie die Grösse der Welle, nämlich wie das Gewicht des über die spiegelnde Oberfläche gehobenen Wassers verhält. Die Geschwindigkeit der Wellen ist hiernach zugleich von ihrer Breite und Höhe abhängig.

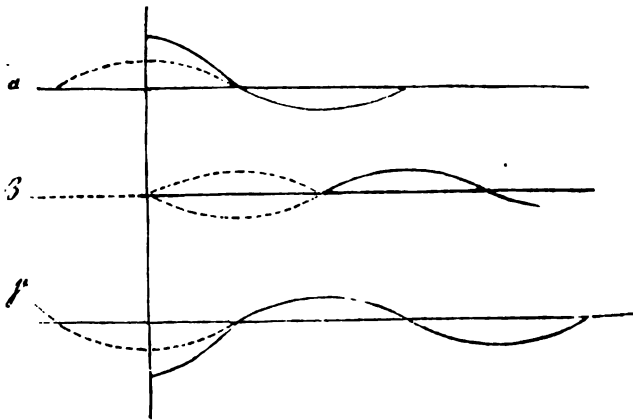
Im freien Wasser nimmt die Welle, während sie sich von der Entstehungsstelle ausbreitet, an Breite aber auch an Länge zu, und zugleich die Höhe bedeutend verringert. Die bewegende Kraft in gleich langen Wellenstücken muss dadurch allmäh-

lig abnehmen und mit ihr die Geschwindigkeit der mehr und mehr sich ausbreitenden Welle. Einen anderen Aufenthalt erfährt die Welle durch den Widerstand des Bodens. Sie pflanzt sich daher in tiefem Wasser mit grösserer Schnelligkeit fort als in weniger tiefem. Das specifische Gewicht einer Flüssigkeit ist ohne Einfluss auf die Beschaffenheit der darin erzeugten Welle, aus demselben Grunde aus welchem die Ausflussgeschwindigkeit durch enge Oeffnungen davon unabhängig ist.

472. Wenn eine Welle das Ende des Behälters erreicht hat, verlieren die schwingenden Flüssigkeitstheilchen durch das Anprallen an der Wandfläche den wagerechten Theil ihrer Bewegung und erheben oder senken sich zu Folge des ihnen bleibenden senkrechten Theils. Die senkrecht aufsteigenden Flüssigkeitstheilchen, indem sie wieder niedersinken, oder die senkrecht niedergehenden, indem sie wieder aufsteigen, geben Veranlassung zur Bildung einer neuen Welle, die ganz so wie die frühere, nur im entgegengesetzten Sinne fortschreitet. Diess ist die zurückgeworfene Welle.

Der anprallende Wellenberg (Fig. 216 *a*), weil er im Augenblicke, da sein Gipfel die Wand erreicht hat, sich um die ganze

Fig. 216.



frühere Breite seines Vordertheils verkürzen musste, während doch die bewegende Kraft sich nicht geändert hat, erhebt sich zu der doppelten Höhe der frei fortschreitenden Welle. Aus dem gleichen Grunde senkt sich das anprallende Thal tiefer ein. Der Wellenberg beginnt indess schon zurückzuschreiten, bevor das ihm folgende Thal die Wand erreichen konnte, und sein hinterer Fusspunkt verlässt die Wand in eben dem Augenblicke, da der vorderste Punkt des Thals an derselben ankommt. Berg

al, die zusammen eine Welle ausmachen, gehen also während Zurückwerfung durch einander durch, dergestalt, dass letztere einen Augenblick durch ersteren ausgefüllt wird und das Wasser um die halbe Wellenbreite geebnet erscheint. (Fig. 216 β) der Wandfläche zunächst liegenden Theile setzen aber als die allen gemeinschaftliche niedergehende Bewegung fort, entfernteren fahren fort aufzusteigen; bald ist die Welle wieder vollständig und zwar in derselben Ordnung wie früher entwickelt. D. h. dieselbe Wellenhälfte (Berg oder Thal), welche zuerst voranging, ist auch wieder bei dem Rücklaufe voran.

Wenn die zurückgeworfene Welle mit einer später erzeugten, das Ende der Rinne noch nicht erreicht hatte, zusammentrifft, heben sich die wagerechten Bewegungen der schwingenden Theilchen wechselseitig ganz oder theilweise auf, die senkrechten werden verstärkt. Jede Welle dient gleichsam der andern als Grundfläche; die zusammentreffenden Wellenberge verstärken sich und erreichen, wenn beide Wellen von gleicher Grösse waren, jetzt bei unveränderter Breite fasst die doppelte Höhe; die zusammentreffenden Wellenthäler bilden in gleicher Weise eine verhältnissmässig vermehrte Einsenkung. Wenn aber der Wellenberg der einen Welle mit dem Thal der andern zusammentrifft, wird auf einen Augenblick die glatte Wasserfläche ganz oder theilweise wieder hergestellt. Unmittelbar darauf geht dann die Wellenbewegung nach beiden Seiten fort, wie wenn keine von den Wellen die andere gestört hätte.

Auch in grösseren Wasserbehältern bemerkt man, dass verschiedene Wellen zusammentreffen, oder einander durchkreuzen können, ohne sich in ihrer Bewegung im Allgemeinen zu stören. Immer findet man dann, dass im Augenblicke der Durchkreuzung, an den Durchkreuzungsstellen selbst ein wechselseitiges Verstärken oder Aufheben eintritt. — Wellen von nahe gleicher Grösse und also auch gleicher Fortpflanzungsgeschwindigkeit, die von ganz nahe liegenden Punkten ausgehend, sich nach denselben oder nach wenig verschiedener Richtung fortpflanzen, einigen sich daher, indem sie zusammentreffen, stellenweise grösseren Wellenstücken, die dann als eine einzige grössere Welle fortschreiten, während an anderen Stellen, wo der erhöhte Theil der einen mit dem vertieften der andern zusammenfällt, und die Schwingungen ihrer Theilchen sich in den Zeitpunkten gegengesetzter Bewegung begegnen, sie sich wechselseitig auslöschen.

Wenn Wellen von gleicher Grösse von beiden Enden der Rinne, je zu bestimmten Zeitabschnitten so zurückgeworfen werden, dass gleichartige Theile derselben einander immer an denselben Punkten begegnen, so heben sich überall die wagerechten Bewegungen der schwingenden Flüssigkeitstheile auf und

die Wellenbewegung verwandelt sich in ein senkrechtes Niedersteigen der flüssigen Theile, das sich mittelst d sehr gut beobachten lässt. Diess sind die von den G Weber entdeckten stehenden Wasserwellen. Sie scheiden sich von den fortschreitenden Wellen wesen durch, dass bei diesen letzteren der Vordertheil eines W ges immer im Steigen, der Hintertheil immer im Sinken ist, während bei den stehenden Wellen alle Theile d Wellenberges gleichzeitig niedersinken, alle Theile d Wellenthales sich gleichzeitig erheben. Dabei erscheint Fläche der Flüssigkeit in regelmässige Abtheilungen geth denen die benachbarten immer in entgegengesetzten R isochronisch schwingen, während die Uebergangspu einer Abtheilung zur andern ganz in Ruhe bleiben.

In Figur 3 und 4, Pl. V., erblickt man zwei Beispiele stehene Um dieselben in der Wellenrinne hervorzubringen, wird ein langes Brettstück, am einen Ende der Rinne auf dem Boden eingesetzt un seine unterste Kante, nach einem gewissen Takte hin und her beweg der Schnelligkeit dieses Taktes entsteht nur eine einzige stehende es bilden sich deren zwei oder drei oder noch mehrere.

Die älteren Naturforscher hielten die Wellen im freien Wasser fi stehenden Wellen ähnliche Erscheinung. Diese Ansicht ist jedoch du perimentellen Untersuchungen der Gebrüder Weber aufs bestimmte legt worden.

473. Die gewöhnliche Ursache der Wellenbildung in ist der Wind. Der Stoss des Windes erzeugt aber nicht nu sondern trägt auch noch zu ihrer weiteren Verstärkung b die in der Richtung des Windes fortschreitende Welle niedergehenden hinteren Theile durch die Einwirkung de nur um so stärker niedergedrückt, folglich das Erheben dem Winde geschützten Vordertheils befördert und v Gleichwohl können nur solche Wellen, die sehr weit forts und dabei immer vom Winde verstärkt werden, eine aus nete Grösse erreichen. Grosse horizontale Ausdehnung (serfläche bei hinreichend grosser Tiefe, um die freie Ent der Welle nicht stören zu können, ist daher eine nothwen digung zur Hervorbringung jener mächtigen Meere zwischen welchen oft ein Schiff vor dem Blick des and schwindet.

Im Ocean sollen die Wellen durch die Heftigkeit des und indem mehrere zusammentreffen, zuweilen die H 60 Fuss erreichen. In kleineren Meeren, wie in der Ostse Mittelmeer entstehen niemals so hohe Wellen. Die gew Höhe einer einfachen Welle übersteigt nicht 6 Fuss.

Wenn eine im tiefen Wasser entwickelte Welle von licher Grösse, während ihres Laufes auf seichtere Stellen so wird ihre Bewegung verlangsamt, ihre Breite nimmt

nimmt zu (ähnlich wie bei dem Anprallen an einer Wand; und auch aus demselben Grunde) und sie kann dadurch der vorderen Seite so steil werden, dass sie sich endlich mehr erhalten kann und überstürzt. Man sagt dann: sie det.

Die Erscheinung der Ebbe und Fluth ist nichts anders, als grossartige Wellenbewegung, erzeugt durch die periodisch selbde Stärke der Anziehung, welche Mond und Sonne auf Wasser der grossen Oceane, und zwar hauptsächlich des stilleren äussern.

Von der Elasticität und der Wellenbewegung in elastischen Körpern.

174. Elasticität nennt man das Bestreben der Körper in ihre äussere Einwirkungen irgend wie veränderte Gestalt Grösse zurückzutreten, so wie diese äusseren Einwirkungen lassen (36).

Diese Eigenschaft, überall wo sie sich findet, beweist das Bestreben eines Gleichgewichtszustandes zwischen den Molekularkräften, (nämlich der Molekularanziehung und Molekularabstossung) so lange ein Körper in seinem natürlichen, von äusseren Einwirkungen unabhängigen Zustande verweilt. D. h. wie hart fest ein Körper sein mag, so ist dennoch die Kraft, welche der Trennung seiner Theile widersetzt, beim Beginne des ersten Eindrucks Null; sie entwickelt sich erst, indem die Abstände der Theilchen sich verändern und gewinnt innerhalb gewisser Grenzen ein um so grösseres Moment, je weiter die Theile aus ihrer ursprünglichen Lage verrückt werden. Diese verhalten sich, nach dem Aufhören des störenden Einflusses, ähnlich aus seiner Ruhelage gebrachten Pendel, mit beschleunigter Bewegung in ihre natürliche Gleichgewichtslage zurückgetrieben, verhalten dieselbe in dem Augenblicke, da die treibende Kraft wieder Null, die Geschwindigkeit aber ein Grösstes geworden ist, und müssen sie folglich von Neuem, jetzt aber im entgegengesetzten Sinne verlassen. So kommt es, dass die Erscheinung der Rückkehr elastischer Theile in die Ruhelage stets von einer Reihe, mehr oder weniger in die Augen fallender Schwingungen begleitet ist.

Alle festen Körper, jeder innerhalb gewisser Grenzen, sind elastisch. In besonders auffallender Weise zeigen diese Eigenschaften: Federn von gehärtetem Stahl, dünne Streifen und Fäden

gen, die besitzen eine Elasticität nur im Sinne de
sion.

Es gibt im Allgemeinen vier Arten, die Elasti
Körpers in Anspruch zu nehmen, nämlich: Dehnen o
ken (Ausziehen nach der Längenrichtung), Zusan
ken, Biegen und Drehen.

475. Die grösste dehnende Kraft, welche sich anw
ohne dass ein fester Körper sein Vermögen auf die frühe
sionen zurückzukommen, verliert, ist das, was se
lute Stärke oder absolute Festigkeit aus
Verlängerung, welche eine Stange oder ein Faden v
gleichem Querschnitte durch dieses Kraftmaximum e
woraus hervorgeht, um wie viel derselbe ohne bleiben
zu werden, sich ausziehen lässt, wird seine Ela
gränze genannt. Innerhalb dieser Gränze ist ein K
kommen elastisch und sein Widerstand, d. i. seine el
Kraft ist der dehnenden oder spannenden Kraft gleich
gleichmässig mit derselben. Seine durch Dehnung
ten Verlängerungen verhalten sich inner
Elasticitätsgränze wie die spannenden Kräfte
vesande in Biot traité 1. 470.)

Versucht man aber einen Körper noch weiter z
so wird er entweder zerrissen, oder er erfährt eine
bleibende Verlängerung in der Richtung der Zugkraft.

Viele Körper, besonders unter denjenigen Metalle
sehr merkliche bleibende Ausstreckung gestatten, w
z. B. Schmieden, Hämmern oder Walzen lassen, wie
Stahl, erleiden, wenn sie zuvor noch gar nicht gedeh

in Veränderungen im inneren Zustande des Stoffes unverändert und den angehängten Gewichten proportional. (Gerstners Mechanik B. 1. S. 259; Pogg. Ergänz. II. S. 19.)

Stäbe und Schienen von Eisen oder Stahl, an welchen schwere Lasten anhängt, welche z. B. beim Brückenbau verwendet werden sollen, müssen aus dem Grunde vor ihrer Verwendung auf die grösste Spannung, welche sie in Folge auszuhalten haben, geprüft werden. Eine Kettenbrücke von nicht ersten Eisenstäben ausgeführt, würde bald eine bleibende Senkung annehmen müssen.

Aus demselben Grunde wird die Elasticität geschmeidiger Metalle, wie des Eisens, Stahls, Kupfers, Messings, Silbers, Platins u. s. w. durch Hämmern, Walzen insbesondere durch das Drahtziehen ungemein erweitert. Dieser Zugelasteter Elasticität geht aber wieder verloren, wenn Metalldrähte dem Ziehen stark ausgeglüht werden. Häufig verliert er sich auch schon durch blosser Erschütterung; so wie durch eine Summe von kleinen Einwirkungen im Laufe der Zeit. Geschmeidige Metalle werden durch das Drahtziehen weicher, um so mehr, je mehr sich ihre Elasticitätsgränze erweitert.

Bei sehr spröden Körpern, wie beim Glase, ist die Gränze der Spannung, bis welcher sie vollkommen elastisch sind, unveränderlich und sie zerreißen, sobald sie diese Gränze überschritten wird.

Manche Stoffe, zumal aus dem Thier- und Pflanzenreiche, wie Gummi-Elasticum, Darmsaiten u. s. w. besitzen die Eigenschaft, die stärkste elastische Dehnung, die sie in Folge einer Einwirkung von gegebener Grösse überhaupt erleiden können, nicht einmal sondern nur nach und nach, öfters erst nach mehreren Jahren einer gleichförmig fortdauernden Einwirkung anzunehmen können, eben so auch, nach Abnahme der Belastung, nur allmählig zu ihrer anfänglichen Länge zurückkehren. W. Weber nennt dieses Verhalten, das er zuerst bei der Seide beobachtet und genau untersucht hat, elastische Nachwirkung. Dieselbe unterscheidet sich von der ziemlich beträchtlichen bleibenden Dehnung eines vorhin noch ungespannten Seidenfadens wesentlich dadurch, dass sie sich sowohl nach vermehrter wie nach verminderter Spannung verhält und zwar immer in derselben Weise, so oft man auch diesen Versuch wiederholen mag. (Pogg. Ann. B. 34. S. 247; 4. S. 1.)

476. Die Last, welche ein prismatischer oder cylindrischer Körper tragen kann, ohne zu zerreißen, verhält sich wie die Grösse des Querschnittes und ist unabhängig von seiner Länge. Theoretisch ist kein Grund vorhanden, warum eine Stelle eines solchen Körpers leichter als eine andere reißen sollte. Geschieht es gleichwohl, so ist es nur eine Folge mangelnder Gleichartigkeit. Bei vollkommener Gleichartigkeit des Stoffes müssten in dem Augenblicke, da die äusserste Gränze des elastischen Widerstandes überschritten ist, alle Theilchen gleichzeitig auseinandergehen. Diese Gränze wird jedoch niemals erreicht und man betrachtet daher gewöhnlich dasjenige Gewicht, bis zu welchem der Körper noch nicht zerbricht.

477. Die elastische Verlängerung, welche ein Stab und dasselbe angehängte Gewicht erfährt, verhält sich zur Länge des Stabes und umgekehrt wie die Grösse des Querschnittes. Man nennt die an einer Stange von bekannter Belastung erhaltene Verlängerung, dividirt durch diese Belastung und multiplicirt mit dem Querschnitt in andern Worten ausgedrückt: die elastische Dehnbarkeit der Länge, der Querschnittsfläche und des spanntgewichtes: den Dehnungsquotienten.

Eine Zahl, welche das Verhältniss der elastischen Verlängerung zu der dazu erforderlichen Kraft, oder auch diejenige Kraft ausdrückt, die bei Körpern von gleicher Länge und gleichem Querschnitt eine gleiche Verlängerung bewirkt, heisst die Elasticitäts-Modulus der Elasticität. Gewöhnlich bezeichnet man denselben durch diejenige Anzahl Pfunde, wo eine Stange vom Querschnitt Eins, unter Voraussetzung der Elasticität bis zur doppelten Länge ausgezogen werden müsste, und findet ihn dann, indem man mit dem Dehnungsquotienten in 1 dividirt; denn der Dehnungsquotient verhält sich zur Längeneinheit, wie die Gewichtseinheit zum Elasticitäts-Modulus.

Dividirt man die so gefundene Gewichtszahl durch die Kubikeinheit des betreffenden Stoffes, so erhält man die Elasticitäts-Modulus einer aus demselben Stoffe gebildeten Stange, senkrechter Lage am oberen Ende befestigt, durch die ihr eigener Masse, ihren obersten Zoll auf die doppelte Länge ausziehen müsste. Häufig wird der Elasticitäts-Modulus auf dem eben angedeuteten Wege berechnete Länge

Gewichte sind Kilogramme, die Querschnittsflächen Millimetre. Die δ enthält in Millimetern die Verlängerungen, welche eine Stange von δ dreifachem Querschnitt und 1 Metre Länge erfährt, wenn ihr unteres Ende t logr. belastet wird; durch die in der Spalte t angegebene Belastung E die Stange zerrissen und durch das in der Spalte E angezeigte α die doppelte Länge ausgezogen werden, wenn ihre Theile überhaupt zusammenhalten könnten.

	δ	t	E	α
gezogen	7,748	61,1	20869	0,0479
gelassen*)	7,757	46,9	20794	0,0481
.	—	96,0	18180	0,0550
.	7,718	70,0	18809	0,0532
.	7,622	40,0	17278	0,0579
.	7,420	161,0	16922	0,0591
.	7,717	65,7	19549	0,0513
.	—	14,5	12700	0,0787
.	8,933	40,3	12450	0,0803
.	8,936	30,5	10519	0,0951
.	8,427	50	9277	0,1078
.	10,369	29,0	7357	0,1359
.	10,304	16,0	7140	0,1401
.	18,514	27,0	8131	0,1230
.	18,035	10,1	5584	0,1791
.	21,166	34,1	15928	0,0628
.	11,215	1,25	1775	0,5634
.	11,165	2,07	1803	0,5546
.	2,446	1,00	6890	0,1451
.	13,596	...	2943	0,3398
.	1	....	218	4,5854

pern von ganz gleichartiger Masse, z. B. beim Glase, zeigt sich in denselben Richtungen eine gleiche elastische Beschaffenheit. Dies gilt nur für diejenigen, welche zum Würfelsystem kristallisirt sind nach verschiedenen Richtungen gleich elastisch und ungleich dicht. Spuren dieser Verschiedenheit nach Savart bei den meisten festen Körpern, selbst bei den Me-

lasticitäts - Coefficient ist für ein und denselben Körper und selbst in derselben Richtung keine ganz constante Grösse. Nicht nur die Einheit des Stoffes ist von grossem Einflusse darauf, sondern auch die Dichtigkeit und Temperatur. Nach Werthheim wird die Dichtigkeit erhöht, welche die Dichtigkeit erhöhen und so um durch Temperatur - Erhöhung vermindern sich die Elasticitäts - Coefficienten in stetiger Weise, jedoch sehr langsam. (Pogg. Ann. Er-

lasticitäts - Coefficienten der Metalllegirungen fand Werthheim Mittel aus denjenigen ihrer Bestandtheile, ohne dass durch die bei einer Verdichtung merkliche Ab- herbeigeführt wurden.

Während die Länge eines cylindrischen oder prismatischen nach dem Ziehen ausgeglüht.

Diese Versuche von Werthheim haben jedoch dieses
 nicht bestätigt. Er wendete hohle Cylinder an, versehen
 capillaren Röhre und ganz angefüllt mit Flüssigkeit.
 angehängte Gewichte bewirkten Verlängerungen des
 wurden dann direkt gemessen, die Erweiterungen sein
 aus dem veränderten Stande der Flüssigkeit in den Ha
 bestimmt. So fand Werthheim, dass die Volumszunah
 der Hälfte sondern nur dem Drittel der Verlängerung glei
 Denkt man sich jetzt die dehnende Kraft nach den di
 sionen wirksam, so wie es z. B. der Fall ist, wenn i
 Flüssigkeit ganz angefülltes und geschlossenes Gefäss
 einer Druckpumpe noch eine neue Menge von derselbe
 keit eingetrieben wird, und setzt man die Vergröss
 Längeneinheit wie vorher gleich α , so würde hiernac

grösserung auf die Einheit des Volums $3 \cdot \frac{\alpha}{3} = \alpha$ au

D. h. der Dehnungsquotient für die lineare un

kubische Ausdehnung ist gleich gross. Nach

Poisson gegebenen Gesetze würde der letztere $\frac{3\alpha}{2}$

wenn α den Werth des ersteren bezeichnet.

479. Alle Körper lassen sich durch äusseren Druck
 ten. Die dadurch eintretenden Verkürzungen und Volun
 derungen sind, in sofern beim Nachlassen der äussere
 kung der frühere Umfang sich vollkommen wieder herst
 innerhalb der Gränze der vollkommenen Compressions-l
 den drückenden Kräften proportional.

Die Grösse der durch Druck bewirkten Veränderung
 gen auf die Einheit der Masse, d. i. der Quotient der
 mendrückbarkeit ist gleich dem Quotient de

brachte, in welcher die Luft verdichtet werden konnte. Der vermehrte Druck wirkte dann durch die Mündung des Capillarrohres auf die Flüssigkeit und pflanzte sich durch diese bis auf die Wand des Behälters fort, welche denselben Druck zugleich von Aussen zu erleiden hatte. Es ergab sich ein mit der Zunahme der Luftspannung proportionales Sinken der Flüssigkeit in dem Capillarrohr, und eben so ein mit dem abnehmenden Drucke proportionales Steigen. Diese Versuche wurden später von Oerstedt mit der Abänderung wiederholt, dass das Piézometer mit Wasser, an der Stelle der Luft umgeben wurde. Das Hauptresultat blieb unverändert. Der auf die eine oder die andere Weise gefundene gleiche Werth bezeichnete jedoch nur die scheinbare Zusammendrückung, weil mit der Flüssigkeit zugleich auch die Glasmasse zusammengedrückt und dadurch der innere Raum des Behälters etwas vermindert worden war. — Colladon und Sturm suchten die wirkliche Zusammendrückung durch zu ermitteln, dass sie unter Voraussetzung, der innere Raum des Glasbehälters werde durch den von Innen und Aussen gleichzeitig wirkenden Druck eben so viel zusammengedrückt, als ein demselben gleicher Glaskern, aus direkt gemessenen linearen Dehnung des Glases die kubische Zusammen-

drückung, und zwar mit Berücksichtigung der Formel $K = \frac{3}{2} \alpha$, durch Rechnung bestimmten, und diesen berechneten Werth der scheinbaren Verdichtung der Flüssigkeit hinzusetzten. Neuerdings hat sich auch Regnault mit dieser Frage beschäftigt und seine Versuche so geleitet, dass daraus die Verdichtung der Flüssigkeit zugleich mit der Volumsveränderung des Piézometers bestimmt werden konnte. Abwechselnd wurde nämlich entweder bloss die Außenwand des Glasbehälters, oder bloß das Innere, oder endlich das Innere und Aeusere zugleich einem verstärkten Luftdrucke ausgesetzt. So erhielt er die Beobachtungen die zu eben so vielen Gleichungen zwischen der unbekanntlichen Volumsveränderung der Flüssigkeit und der ebenfalls unbekanntlichen Volumsveränderung der Behältermasse führten. Regnault hat auf diesem Wege die wirkliche Zusammendrückbarkeit des Wassers und des Quecksilbers zugleich mit der eines Piézometers von Kupfer, eines zweiten von Messing und eines dritten von Glas, gemessen*).

Hier sind seine Resultate zusammengestellt. Die Spalte K enthält die kubische Zusammendrückbarkeit des inneren Raumes der Behälter für 1 Atmosphärendruck auf 1 Quadratcentimeter.

Hülle	K	Wasser		Quecksilber wirklich
		scheinbar	wirklich	
Kupferne Kugel	0,000001338	0,00004639	0,00004773	— — —
Messingene Kugel	0,000001479	0,00004685	0,00004833	— — —
Eiserner Cylinder mit halbkugelför- migen Grundflächen	0,000002290	0,00004430	0,00004659	0,000003524
			0,00004755	0,000003524

Die Werthe K , welche das Verhältniss der Zusammendrückbarkeit, der von verschiedenen Hüllen umschlossenen Räume für 1 Atmosphärendruck oder 37 Kilogr. auf 1 Q. Centmtr. bezeichnen, sind nicht mit den Quotienten α der Kompressibilität oder Zusammendrückbarkeit der betreffenden Behältermassen verwechselt. Beide sind jedoch proportional, und es verhält sich nach Gerthoff $K : \alpha = 4 : 3$.

*) Relation des experiences ect. par M. V. Regnault. Paris 1847.

Da nun der Quotient der kubischen Veränderungen dem der linearen gleich ist, so ergibt sich der Dehnungsquotient, wenn das Kilogramm als die Einheit der ziehenden oder drückenden Kraft, das Millimeter als Einheit der Länge, das Quadratmillimeter als Einheit der Fläche gesetzt wird:

$$\alpha = \frac{3}{4} \frac{100 K}{1,037} ;$$

so z. B. ist für Kupfer

$$\alpha = \frac{3}{4} \cdot \frac{100}{1,037} \cdot 0,000001338 = 0,0000967.$$

Diese Zahl stimmt mit dem durch Dehnung direkt gefundenen Dehnungsquotienten des Kupfers nahe überein.

Die Zahl 0,00004755 ist der Quotient der wirklichen Zusammendrückung des Wassers, der Atmosphärendruck als Einheit gesetzt. Daher der mit α vergleichbare Werth für Wasser:

$$\frac{0,00004755 \cdot 100}{1,037} = 0,0045854$$

Das Wasser ist mehr als 45 mal dehnbarer oder zusammendrückbarer als das Kupfer und fast 100mal mehr als das Eisen.

Der Elasticitäts-Coefficient des Wassers ist:

$$E = \frac{1}{0,0045854} = 218.$$

Der des Quecksilbers ist: $E = 2943$.

480. Wird ein cylindrischer oder prismatischer Körper an seinen beiden Grundflächen zusammengedrückt, während seine übrige Oberfläche frei bleibt, so verkürzt er sich und wird dünner. Um dieselbe Verkürzung hervorzubringen, wenn das Prisma von allen Seiten einem gleichen Drucke ausgesetzt wird, ist nach Werthheim die dreifache Kraft im Sinne der Axi erforderlich.

Bei fortgesetztem Drucke auf die Oberfläche einer Säule, deren Seitenflächen frei sind, fallen endlich ihre Theile auseinander, sie wird zerdrückt. Die hierzu nöthige Kraft nennt man die rückwirkende Festigkeit. Ihre Grösse ist von der Grösse der Grundfläche, aber auch von der Höhe der Säule abhängig. Der rückwirkende Widerstand wächst nicht wie die absolute Festigkeit, proportional mit dem Querschnitte oder der Grundfläche, sondern in einem weit grösseren Verhältnisse, weil die inneren Theile um so mehr tragen können, je mehr sie durch die Festigkeit der Umgebung gehindert sind, auseinander zu gehen. Der Einfluss der Höhe ist keinem festen Gesetze unterworfen und beruht nur darauf, dass zufällige Ungleichartigkeit der Masse sich bei höheren Säulen leichter geltend macht. Vergleichbare Ausdrücke für die rückwirkende Festigkeit verschiedener Körper sind daher noch weniger zu erlangen als für die absolute Festigkeit. Jede Vergleichung hört auf, so wie eine belastete Säule sich zu biegen beginnt. Im Allgemeinen zeigen harte und spröde Körper die grösste rückwirkende Festigkeit, weil sie der Biegung am besten widerstehen. So z. B. ist die rückwirkende Festigkeit

isens weit grösser als die des Schmiedeeisens, währ-
 kehrt, letzteres das erstere hinsichtlich seiner absoluten
 übertrifft.

Der Widerstand den die Körper dem Biegen und Zerbre-
 regensetzen, wird ihre relative Festigkeit ge-
 in denke sich eine prismatische Stange (Fig. 217) in

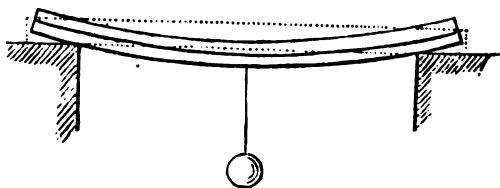
Fig. 217.



wagerechter Lage, am einen
 Ende festgehalten, etwa ein-
 geklemmt, am andern be-
 lastet, oder wie Fig. 218 an
 beiden Enden aufliegend
 und in der Mitte belastet, so
 kann sie vermöge ihrer re-
 lativen Festigkeit ein ge-
 wisses Gewicht tragen ohne
 zu brechen. Stets aber er-
 folgt eine mit der Grösse

zunehmende Biegung, nämlich Dehnung an der erha-
 mmdrückeung an der hohlen Seite, so dass, wenn man
 lange in eine Reihe wagerechter Streifen oder Cohä-

Fig. 218.



der zerlegt denkt, ein Streifen längs der Mitte der
 oder eine Verlängerung noch eine Verkürzung erfährt.
 sten Theile tragen dann das wenigste, die äusseren
 ler Cohäsionsbänder, weil sie am meisten angestrengt
 oder zusammengedrückt) werden, das meiste zum Wi-
 bei.

sieht nun leicht, dass die Biegung nichts anderes ist,
 rehung der äusseren Theile der Stange um das mittelste
 band, wobei einem jeden anderen von der Mitte ent-
 nde ein Widerstands-Moment zukömmt, dessen Grösse,
 elastische Kraft des Stoffes gegeben ist, nur von dem
 les betreffenden Bandes von der Mitte, von diesem aber
 r Weise abhängig ist. Mit dem Abstände von der Mitte
 mlich die Dehnung oder Zusammendrückeung, folglich
 Theil des elastischen Widerstandes, welcher in An-
 nommen ist, zugleich mit dem Hebelsarme, an welchem
 t zum Angriffe kommt. Die Widerstände der aufeinan-

der folgenden Cohäsionsbänder verhalten sich daher wie die Quadrate ihrer Abstände von der Mitte der Stange, und der Widerstand der ganzen Stange gegen das Biegen, ist dem Quadrate ihrer Höhe proportional. Ausserdem wächst dieser Widerstand, wie leicht einzusehen, direkt mit der Breite und umgekehrt mit der Länge der Stange. — Aus der Zunahme des Widerstandes mit dem Quadrate der Höhe erklärt es sich, dass dünne aber hohe Streifen eines Körpers, wenn sie auch im Sinne der Dicke eine grosse Biegsamkeit besitzen, dennoch im Sinne der Höhe ein bedeutendes relatives Tragungsvermögen zeigen können. Auch wird man jetzt verstehen, warum Stäbe und Säulen, die in der Mitte hohl sind, im Verhältniss zu ihrer Masse ein viel grösseres relatives Tragungsvermögen besitzen, als ausgefüllte.

482. Ein Stab der an einem Ende festgeklemmt, am anderen nach der Längenrichtung gedehnt oder zusammengedrückt, oder auch winkelrecht gegen die Längenrichtung gebogen und dann sich selbst überlassen wird, vollendet eine Reihe elastischer Schwingungen (No. 474), bis nach und nach, theils durch äussere Hindernisse, theils durch Reibung der Theilchen im Inneren die Ruhe sich wieder herstellt.

Die elastische Kraft, durch welche hierbei ein beliebiges schwingendes Theilchen beschleunigt wird, verhält sich wie die Grösse des Weges, den es noch zu durchlaufen hat, um in die Lage seines ursprünglichen Gleichgewichtes zurückzukehren. (475.)

Dasselbe gilt für das Schwerependel für den Fall sehr kleiner Schwingungsweiten, und gerade hierauf beruht, wie die Mechanik lehrt, der Isochronismus seiner Schwingungen. Die elastischen Schwingungen müssen daher ebenfalls isochron sein, und zwar für alle Schwingungsweiten innerhalb der Elasticitätsgränze.

Die beschleunigende Kraft, welche in einem beliebigen Augenblicke das schwingende Pendel treibt, wird für den Fall kleiner Schwingungsweiten gefunden, indem man den Ableitungsbogen mit der Beschleunigung der Schwere multiplicirt. Nun verhalten sich die Abweichungen elastischer Theilchen an ihrer Ruhelage wie die Dehnungen oder Zusammendrückungen, wodurch diese Abweichungen erhalten worden sind. Die elastischen Kräfte, von welchen die Schwingungen abhängen, sind bei demselben Stoffe den Dehnungen proportional und werden gefunden, indem man die Dehnung für die Einheit der Länge und des Querschnittes mit dem Elasticitäts - Coefficienten multiplicirt; denn dieser bezeichnet die Kraft, durch welche die Längeneinheit verdoppelt, also die Dehnung Eins bewirkt wird. Der Elasticitäts - Coefficient steht demnach zu der Schwingungszeit

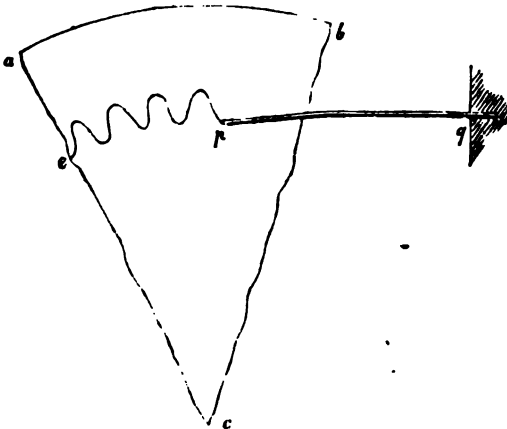
es elastischen Körpers in einer ähnlichen Beziehung, wie die Beschleunigung der Schwere zur Schwingungszeit des Schwerependels.

Man erkennt hieraus die Möglichkeit aus der beobachteten Schwingungszeit eines elastischen Körpers seine Elasticitäts-Coefficienten abzuleiten.

483. Wenn ein elastischer Stab in der Richtung der Länge geschüttelt wird, so nennt man die dadurch entstehenden elastischen Schwingungen: Längenschwingungen (Longitudinalschwingungen). Besteht aber die schwingende Bewegung in der Ausbiegung, abwechselnd nach der einen und andern Seite, sind es Querschwingungen (Transversalschwingungen). Man hat beide Schwingungsweisen zur Bestimmung der Elasticitäts-Coefficienten benutzt.

Werthheim ist es gelungen, die Querschwingungen, die ein am einen Ende eingefugter Stab von bekannter Länge und Dicke in einer Sekunde macht, ohne einer von Dühamel angegebenen Methode unmittelbar zu zählen*). Eine Glasplatte, die mit einer Schicht Klebruss überzogen ist, wird in gleichförmige schwingende Bewegung gesetzt. Am Ende des schwingenden Stabs ist eine feine Spitze befestigt, die auf der Glasplatte ruht, jedoch ohne einen Druck darauf auszuüben, so dass weder die Schwingungen der Stange noch die rotirende Bewegung der Platte dadurch gestört werden können. Der Stab muss also seine schwingende Bewegung selbst in die berusste Fläche einzeichnen. Während z. B. die Platte durch den Winkel acb (Fig. 219) fortschreitet, muss der Stab pq eine gezackte Linie pe beschreiben, von welcher jede Zacke einer Hin- und Herbewegung der Spitze, d. h. einer Schwingung entspricht.

Fig. 219.



Nach Poissons Berechnungen vollendet ein prismatischer Stab, der am einen Ende festgeklemmt, sonst aber ganz frei ist, wenn man ihn durch einen

*) Pogg. Ann. Ergänz. II. 8.

Stoss am andern Ende nöthigt, Transversalschwingungen zu machen, eine und Herbewegung in der Zeit

$$T = \frac{1}{n} = 0,9905 \frac{\Pi l^2}{h} \sqrt{\frac{\delta}{g E}}$$

Für cylindrische Stäbe gilt in ähnlichem Sinne die Gleichung

$$T = \frac{1}{n} = 1,1437 \frac{\Pi l^2}{r} \sqrt{\frac{\delta}{g E}}$$

n bedeutet die Anzahl in einer Sekunde vollendeter Schwingungen, l die Länge, h die halbe Höhe oder r den Radius des Stabes, δ das Gewicht der kubischen Einheit des Stoffs, in demselben Gewichtssystem ausgedrückt, worin der Elasticitäts-Coefficient E gefunden werden soll.

So wurde z. B. für einen Eisendraht von 500 Mmre Länge und 1 Mmre Radius, dessen spec. Gewicht 7,748 betrug $n = 8,146$ gefunden. Die Werthe in die zweite Formel gesetzt, und mit Berücksichtigung, dass die Beschleunigung der Schwere $g = 9808,8$ mmre, ergab sich für diesen Eisen $E = 18670$ Kilogramme.

Auf einem ähnlichen Wege hat Werthheim die Schwingung longitudinal schwingender Stäbe gemessen und daraus mit Hülfe der Gleichung

$$T = \frac{1}{n} = 2l \sqrt{\frac{\delta}{g E}}$$

die Elasticitäts-Coefficienten abgeleitet.

Beide Methoden führten zu sehr übereinstimmenden Zahlen, welche jedoch in den meisten Fällen bedeutend grösser sind, als die für dieselben Stoffe durch Dehnungsversuche gefundenen Werthe. Z. B. für gezogenen Kupferdraht 8,729 spec. Gewicht ergab sich aus den Querschwingungen der Elasticitäts-Coefficient 12513 Kilogramm. Aus Längenschwingungen 12536 und aus Torsionsversuchen 12449.

Werthheim vermuthet, dass die Verschiedenheit darauf beruhe, dass die Temperaturveränderungen erzeugt werden, wodurch die Bewegung beschleunigt, also der Elasticitäts-Coefficient scheinbar vergrößert wird.

484. Hat man einen dünnen Draht oder einen Faden an einem Ende befestigt und dreht man denselben am andern Ende um seine Längsaxe, so müssen sich die Theilchen, aus welchen der Draht gebildet ist, aus ihrer Gleichgewichtslage entfernen. Sie müssen daher auch in diesem Falle einen von ihrer Elasticität abhängenden Widerstand leisten.

Angenommen, der Draht sei durch ein angehängtes Gewicht gerade gespannt; sein unterer Theil sei mit einem Zeiger versehen, der sich so wie in Fig. 220 angedeutet, über einem getheilten Kreise bewegt. Die Kraft welche in dem Abstände l von der Längsaxe des Drahts, oder von der Mitte des Kreises, erforderlich ist, um den Zeiger um einen Bogen 1 (den Halbkreis g II gesetzt) aus seiner Ruhelage zu rücken, sei α , so wird die Kraft $\alpha \varphi$ nöthig sein, um die Ablenkung φ zu bewerkstelligen. Denn von welcher Art auch die Verschiebung sein mag, werden die Theilchen des Drahts durch die Drehung erfahren, so müssen doch die Wege, welche sie dabei zurücklegen, in der Grösse des Drehungsbogens proportional sein. Fol-

20 muss auch die Grösse des elastischen Widerstandes sich wie die Grösse des Drehungsbogens verhalten; so lange wenigstens, als die Gränze der Elasticität nicht überschritten worden ist. Denkt man sich irgend eine andere Kraft, die sich mit dem elastischen Widerstande ins Gleichgewicht gesetzt hat, an der Spitze des Zeigers, an einem Hebelsarme

r wirksam, so ist ihre Grösse $K = \frac{a \varphi}{r}$.

Die Drehung eines Drahtes gewährt auf diese Weise ein einfaches Mittel, kleine Kräfte zu messen, sobald nur der Werth von a ein für allemal bestimmt ist. Diese Bestimmung lässt sich durch Schwingungsversuche bewerkstelligen.



Sich selbst überlassen muss nämlich der Zeiger eine Reihe von Schwingungen vollenden, welche mit denen des Pendels die grösste Aehnlichkeit besitzen und auch wie diese isochron sind; weil die beschleunigende Kraft, wie vorher gezeigt wurde, in jedem Zeitraume der Bewegung dem Wege, d. i. dem Drehungsbogen proportional ist, welchen der Zeiger bis zum Eintritte in die Ruhelage noch zu beschreiben die Schwingungszeit gilt daher die Formel:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

für g der geeignete Werth eingesetzt wird. In dieser Pendelformel die Beschleunigung für den Weg l oder wenn der Weg ein Bogen Bogen l . Die elastische Kraft im Abstände l von der Drehföhren den Ablenkungsbogen l wurde oben mit a bezeichnet. Die Kraftigungspunct, dem die Länge l zugehört, ist daher $\frac{a}{l}$. Die in Punct reducirte Masse des schwingenden Systems sei m , so beträgt te Beschleunigung für den Weg l , $g \frac{a}{l m}$;

$$\text{folglich: } t = \pi \sqrt{\frac{l \cdot l \cdot m}{g a}}$$

$$\text{und dann } a = \frac{\pi^2 l^2 m}{t^2}$$

kanntlich das Trägheitsmoment der schwingenden Masse und kann den Schwingungsversuchen selbst, oder auch durch Rechnung beorden. Alsdann ergibt sich a aus der beobachteten Schwingungs-

mer Reihe von Schwingungsversuchen hat Coulomb den Beweis dass der elastische Widerstand a sich umgekehrt wie die Draht- direkt wie die 4te Potenz der Drahtdicke verhält, dahingegen rösse des angehängten Gewichtes ganz unabhängig ist*).

Die Gesetze der elastischen Rückwirkung bei der Drehung eines Fadrahts gründet sich ein sehr wichtiges physikalisches Instrument, Coulomb eronnen hat um kleine Kräfte zu messen und welchem er die Drehwaage beigelegt hat. Dieses Instrument besteht im Wesent-

nt traité I. 482.

Neben aus einem dünnen Metall- oder Glasfaden, dessen oberes Ende b und dessen unteres Ende durch Gewichte gespannt ist und eine wag Nadel trägt. Soll nun eine kleine Kraft gemessen werden, so lässt man gerigneter Weise auf die Spitze der Nadel einwirken und misst den um welchen die Nadel, durch Abstossung oder Anziehung aus der Ruhelage gelenkt wird; oder man untersucht, um wie viel Grade das obere E Drahts gedreht werden muss, um die Nadel in die Ruhelage, aus welcher durch die Einwirkung der Nadel entfernt wurde, wieder zurückzuführen. Das obere Ende des Drahts muss deshalb ebenfalls mit einem Zeiger γ sein, der auf einer in Grade getheilten Scheibe mit Reibung beweglich schwebt vor dem Luftzuge pflegt man Draht und Zeiger mit einem Gehülse aus Glas zu umschliessen.

Coulomb^{*)} hat die Drehwaage hauptsächlich zu electrometrischen Zwecken benutzt. Auch nach ihm ist sie wiederholt zu diesem Zwecke angewandt worden. In der neuesten Zeit vorzugsweise von Peter Riess^{**)}, in dessen Abhandlung zugleich eine ausführliche Beschreibung der von ihm gebrauchten Drehwaage enthalten ist.

Auch das von Köhler^{*)} verbesserte, oder eigentlich erst zu dessen Messinstrumenten erhobene Dellmann'sche Electrometer, ist eine Drehwaage^{**)}.

Cavendish hat mittelst der Drehwaage die wechselseitige Anziehung der Erdkörper nachgewiesen^{†)}, und daraus die mittlere Dichtigkeit der Erde abgeleitet. Nach ihm beträgt dieselbe 5.5; oder das mittlere Gewicht der Erde ist 5.5 mal so gross, als das eines gleichen Volums Wasser. Diese Resultate sind in neuerer Zeit von Reich^{††)} und von Baily^{†††)} mit wenig veränderten Erfolge wiederholt worden.

Stoss elastischer Körper.

155. Lässt man eine weiche Masse, z. B. eine Kugel aus weichem Thon gegen eine harte und unbewegliche Fläche s so, dass erstere abgeplattet oder ihr Durchmesser in der Richtung der Bewegung verkleinert wird.

Dieses Verhalten beruht darauf, dass die hintereinander liegenden Schichten, welche die Masse des bewegten Körpers zusammensetzen, nicht gleichzeitig, sondern nur folgeweise zu kommen können, wodurch eine Zusammendrückung im Sinne der Bewegung entsteht muss.

Dieselbe Ursache hat eine gleiche Wirkung auch bei elastischen Körpern zur Folge. Nur ist sie, so lange die Grösse der Elasticität nicht überschritten wurde, vorübergehend, und nicht so unmittelbar in die Sinne fallend. In einigen Fällen jedoch die Abänderung auch bei elastischen Körpern fühlbar.

*) Ann. chim. 1. 226.

**) Pogg. Ann. LXX. 354.

†) Pogg. Ann. LXX. 354. LXXI. 438.

††) Phil. Transact. 1806.

†††) Versuche über die mittlere Dichtigkeit der Erde mittelst der Drehwaage 1807.

†††) Pogg. Ann. LXX. 354.

st man z. B. eine Elfenbeinkugel auf eine mit Russ gewürzte Marmorplatte aus 2 — 3 Fuss Höhe erabfallen, so zeigt sich an dem Aufstallspuncte ein schwarzer Fleck von einem grösseren Umfange als nachher durch die blosser Berührung der Kugel mit der geschwärzten Fläche erhalten werden können.

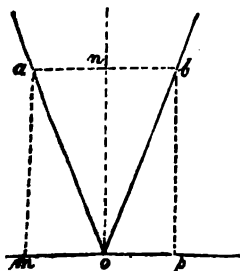
Der Druck welchen demzufolge die noch in Bewegung befindlichen Theile gegen diejenigen ausüben, deren Bewegung bereits erloschen ist, hört auf, wenn endlich alle zur Ruhe gekommen sind. Der zusammengedrückte elastische Körper beginnt aber sich wieder auszudehnen; stufenweise stellt sich die frühere Gestalt wieder her, und mit ihr, nur in entgegengesetztem Sinne, frühere Geschwindigkeit. So kommt es, dass elastische Körper von Wandflächen, welche der Fortbewegung einen hinlänglichen Widerstand bieten, abprallen, während weiche Körper nur zusammengedrückt werden und dabei ihre Bewegung einstellen.

486. Eine Elfenbeinkugel die auf einer dicken und grossen Marmorplatte senkrecht aufschlägt, wird fast zu derselben Höhe zurückgeworfen, von welcher sie herabgefallen war, woraus man sieht, dass sie die anfängliche Geschwindigkeit fast vollständig wieder gewonnen hatte.

Befindet sich die Kugel vor dem Stosse in Ruhe, hängt sie z. B. an einem Faden, und setzt man die Platte in Bewegung, so wird erstere durch den Stoss der letzteren mit der doppelten Geschwindigkeit fortgeschleudert. Denn die einfache Geschwindigkeit der Platte würde die Kugel auch ohne Mitwirkung der Elastizität haben annehmen müssen. Da sie aber zugleich zusammengedrückt wird, wie wenn sie selbst auf die Platte gefallen und dabei ruhend geblieben wäre, so muss sie dieselbe Geschwindigkeit in Folge der elastischen Rückwirkung noch einmal gewinnen, also sich mit der doppelten Geschwindigkeit fortbewegen.

Wenn die Stosslinie ao (Fig. 221) mit der über dem Einfalls-

Fig. 221.



puncte o errichteten Senkrechten on einen Winkel bildet, so wird die Kugel in der Richtung ob zurückgeworfen, so dass die drei Linien oa , on und ob in einer und derselben Ebene liegen und dass der Winkel bon , der Zurückwerfungswinkel, gleich ist dem Winkel aoa , dem Einfallswinkel. Denn man kann sich in diesem Falle die Bewegungsgrösse der aufschlagenden Kugel, nach dem Gesetze des Parallelogramms der Kräfte, aus zwei Bewe-

gungsgrößen nach den Linien no und mo zusammengesetzt denken. Von diesen kann durch den Stoss nur die senkrechte no zernichtet und dann in entgegengesetztem Sinne wiedergegeben werden; während die mit der Einfallsebene gleichlaufende mo unverändert bleibt. Nach dem Stosse müssen sich daher die Bewegungen mo oder op und on zu der Bewegungsgröße ob zusammensetzen.

487. Stossen zwei Körpermassen m und m' mit den Geschwindigkeiten v und v' zusammen, so sollten sie nach No. 118 die gemeinschaftliche Geschwindigkeit $V = \frac{m v \pm m' v'}{m + m'}$ annehmen.

Dies ist jedoch bei elastischen Massen nur einen Augenblick der Fall. Denn durch den Stoss haben sich beide wechselseitig zusammengedrückt. Sie streben daher sich wieder auszudehnen und da jede beziehungsweise zur andern als harter (nicht weich zusammenrückbarer) Widerstand erscheint, so lässt sich einschätzen, dass jede die Bewegung, welche sie verloren oder gewonnen hatte, durch die elastische Rückwirkung noch einmal verliert oder gewinnen muss. War die Geschwindigkeit vor dem Stosse v , so wird sie also nach dem Stosse $v + 2(V - v) = 2V - v$ betragen müssen.

Beim Gebrauche dieser Formel darf man nicht unbeachtet lassen, dass v in Beziehung zu V positive und negative Bedeutung haben kann.

Beispiel: Zwei Kugeln von gleicher Grösse und Geschwindigkeit stossen wider einander; so findet man $V = 0$ daher $2V - v = -v$. A. A. beide Kugeln prallen von einander ab und kehren, jede mit der ursprünglichen Geschwindigkeit zurück.

Angenommen, die Geschwindigkeiten beider gleich grossen Kugeln seien verschieden, so wird $V = \frac{v \pm v'}{2}$.

$$\text{Daher } 2V - v = v \pm v' - v = \pm v'.$$

D. h. die Kugeln kehren nach dem Zusammenstosse mit verwechselter Geschwindigkeit zurück.

Ist die Geschwindigkeit der einen Kugel $v' = 0$ so wird $V = \frac{v}{2}$.

Daher für die eine Kugel $2V - v = v - v = 0$
und für die andere $2V - 0 = v$.

D. h. die ruhende Kugel bewegt sich mit der Geschwindigkeit der andern fort, während letztere ihre Bewegung einbüsst.

Denkt man sich eine Reihe von Kugeln hintereinander an Fäden aufgehängt, dass sie sich berühren. Hebt man die vorderste und lässt sie dann wieder frei, so überträgt sie die gewonnene Geschwindigkeit durch den Stoss auf die zweite, diese eben so auf die dritte, u. s. w. endlich nur die letzte, welche die erhaltene Bewegung nicht weiter übertragen kann, fortfliegt. Hebt man die zwei oder drei vordersten Kugeln und lässt sie wieder fallen, so werden die zwei oder drei letzten der Reihe fortgeschleudert. Der Grund liegt darin, weil die zweite und die dritthohenen Kugeln beim Herabfallen sich nothwendig gegen die erste

etwas verspäten müssen, daher jede ihren Stoss erst ausübt nachdem die vorhergehende schon wieder zur Ruhe gekommen war.

Summe der Bewegungsgrössen zweier Körper vor und nach dem Stoss bleibt, wie schon früher gezeigt wurde (118), unverändert. Aber auch wenn die lebendigen Kräfte vor und nachher müssen gleich geblieben weil der ganze durch den Stoss herbeigeführte Verlust, durch die elastische Rückwirkung vollständig wieder gewonnen wird.

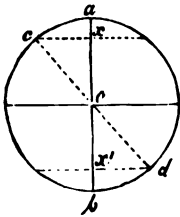
Fortpflanzung der Bewegung in einem gleichartig elastischen Mittel; Wellenbewegung.

38 Alle Schwingungserscheinungen elastischer Körper, von denen bisher die Rede war, gleichen sich darin, dass die zuzuschwingenden Theilchen sich immer gleichzeitig in gleichschwingungsphasen befinden, nämlich gleichzeitig sich zu bewegen beginnen, gleichzeitig, jedes mit seiner grössten Bewegungsgeschwindigkeit die Gleichgewichtslage durchlaufen, gleichzeitig die äusserste Gränze ihrer Ausweichungen erreichen u. s. f. Man nennt sie vorzugsweise stehende Schwingungen.

Wenn durch äussere Einwirkung, durch den Stoss, zunächst nur eine einzige Stelle einer elastischen Masse getroffen wird, so pflanzt sich die hierdurch bewirkte Bewegung der gestohlenen Theile gleichwohl nach und nach durch die ganze Masse aus, denn vermöge der zwischen den Theilchen thätigen Kräfte eines derselben aus der Ruhelage treten, ohne alle andere Theile mit in die Bewegung zu ziehen. Hierdurch entstehen fortschreitende Schwingungen, die übrigens gleich stehenden, longitudinale oder transversale sein können. Fortschreiten von Längenschwingungen beruht stets auf einer Ab- und Zunahme von Verdichtung und Ausdehnung in der Masse des schwingenden Mittels; ähnlich wie der auf eine Elfenbeinkugel ausgeübte Stoss, durch eine ganze Reihe von Kugeln fortgepflanzt wird, so bestehen fortschreitende Querschwingungen dagegen aus einer Wellenbewegung des Wassers, wesentlich nur in einer fortwährenden Verschiebung der Theilchen. Ist die Verschiebung einer Verdichtung begleitet, so entstehen Quer- und Längenschwingungen, die sich unabhängig von einander und mit verschiedenen Geschwindigkeiten fortpflanzen.

Schwingende elastische Theilchen aller Art haben bei vollkommener Elasticität des Mittels das mit einander gemein, dass die sie beschleunigenden äusseren elastischen Kräfte, in jedem Augenblicke der Bewegung, dem Abstande von der Gleichgewichtslage proportional sind (No. 475). Nimmt man

z. B. $a b$ (Fig. 222) als Spielraum der Hin- und Herbewegung eines Theilchens; den Mittelpunkt o als Gleichgewichtslage; α als Grösse der bewegenden Kraft für den Abstand 1, und setzt $a o = o b = r$, $o x = o x' = x$; so ist $r \alpha$ die Kraft, wenn das Theilchen sich in a oder b , an den Punkten seiner grössten Schwingungswerte befindet. Von dieser Kraft ist ihm bei der Ankunft in x oder x' noch αx geblieben. Das Theilchen hat also den Weg $a x = b x' = r - x$ unter den



Triebtrie einer mittleren Beschleunigung $g \frac{\alpha (r+x)}{2m}$

zurückgelegt, wenn m seine Gewichtsmasse vorstellt. Seine Geschwindigkeit im Augenblicke der Ankunft in x oder x' ist demnach

$$v = \sqrt{2g \frac{\alpha (r+x)}{2m} (r-x)} = \sqrt{\frac{g \alpha}{m} (r^2 - x^2)}$$

Man ziehe um o als Mittelpunkt und mit dem Halbmesser $o a = r$ einen Kreis und setze Winkel $coa = \varphi$ so ist $o x = r \cos \varphi$;

$$r^2 - x^2 = r^2 (1 - \cos^2 \varphi) = r^2 \sin^2 \varphi \text{ folglich:}$$

$$v = r \sin \varphi \sqrt{\frac{g \alpha}{m}}$$

Betrachtet man einen beliebigen Abstand des schwingenden Theilchens von seiner Gleichgewichtslage als Cosinus eines Kreisbogens, der um den Punkt des Gleichgewichtes als Mittelpunkt, mit der grössten Schwingungswerte als Radius gezogen ist, so ist die während der Bewegung bis zu diesem Abstande gewonnene Geschwindigkeit, dem Sinusse jenes Bogens proportional.

$$\text{Für Bogen } \varphi = \frac{\pi}{2} = 90^\circ \text{ ist } x = 0 \text{ und } v = r \sqrt{\frac{g \alpha}{m}} = r A$$

$r A$ bezeichnet die grösste Schwingungsgeschwindigkeit des Theilchens, die im Augenblicke der Ankunft in o erlangt. Für jede andere Lage, deren Entfernung von o beträgt: $r \cos \varphi$ ist $v = r A \sin \varphi$).

*) Da das Theilchen bei der Ankunft in x die Geschwindigkeit v besitzt, so muss es in dem nächstfolgenden Zeittheilchen dt den Weg $-dx = v dt$ (1) zurücklegen. dx ist hier mit dem negativen Zeichen behaftet, da es die Verminderung der Wegeslänge x ausdrücken soll. Nun ist x gleich $r \cos \varphi$, daher $dx = -r \sin \varphi d\varphi$. Setzt man diesen Werth von dx in die Gleichung (1) und eben so statt v den oben gefundenen Werth, so wird

$$r \sin \varphi d\varphi = v dt = r A \sin \varphi dt$$

folglich $d\varphi = A dt$ und $\varphi = A t + \text{Const.}$

Da nun für $\varphi = 0$ auch t gleich 0 wird; so verschwindet die Constante, man erhält, wenn für den Bogen φ der Halbkreis π genommen wird: $\pi = A t$. D. h. die Zeit t einer Hin- oder Herbewegung ist gleich dem Peripheriewerte

$$\text{dividirt durch die beständige Grösse } A = \sqrt{\frac{g \alpha}{m}}.$$

Diese Entwicklung lehrt, dass die Gleichdauer elastischer Schwingungen sich als eine nothwendige Folge des elastischen Grundgesetzes ergibt. Sie ist aber nicht bloss für elastische Schwingungen, sondern für Hin- und Herbewegungen jeder Art, bei welchen, wie bei elastischen Schwingungen die Triebkräfte fortdauernd den noch zu beschreibenden Wegen proportional sind.

Z. B. für kleine Schwingungen des Schwebpendels verhält sich die bewegende Kraft wie das Gewicht m der Pendelmasse multiplicirt mit dem Quotienten

Indem die Bögen von 0 bis 90° in arithmetischem Verhältnisse zunehmen, wachsen die Geschwindigkeiten wie die Sinusse der Bögen. Im zweiten Quadranten ist die Geschwindigkeit abnehmend. Im dritten, nämlich für die erste der Bewegungsbahn des zurückkehrenden Theilchens wieder beschleunigend, im vierten Quadranten verzögernd. — Wenn man die ebenfalls in arithmetischem Verhältnisse zunehmende Zeit (T) einer ganzen Hin- und Herbewegung mit einer ganzen Kreisumdrehung vergleicht, und sie demgemäss mit 2π , nämlich dem Kreisumfang für den Halbmesser 1 bezeichnet, so stellt der Bogen eine Zeit t vor, während welcher das schwingende Theilchen den Weg x beschreibt.

$$\text{Es ist daher: } t : T = \varphi : 2\pi \text{ und } \varphi = 2\pi \frac{t}{T}$$

Wenn für einen beliebigen Augenblick die Ausweichung eines schwingenden Theilchens beträgt:

$$x = r \cos. \left(2\pi \frac{t}{T} \right), \quad (I)$$

ist die diesem Standpunkte zugehörige Geschwindigkeit:

$$v = r A \sin. \left(2\pi \frac{t}{T} \right). \quad (II)$$

Aus diesem Grunde kann man sagen: Die Schwingungsgeschwindigkeit eines elastischen Theilchens verhält sich wie der Sinus der verfloßenen Schwingungszeit; die ganze Schwingungszeit (Zeit der Hin- und Herbewegung) als Kreisumfang gedacht.

490. Jeder beliebige Zeitbogen $\varphi = 2\pi \frac{t}{T}$ heisst eine Schwingungsphase. Die Ausweichungen des schwingenden Theilchens verhalten sich wie die Cosinusse, die Geschwindigkeiten wie die Sinusse der Schwingungszeiten.

Wenn das Theilchen eine Reihe Schwingungen hintereinander vollendet die Zeit t vom Beginne der ersten gezählt wird; so drückt $\frac{t}{T}$ die Anzahl derselben aus; $2\pi \frac{t}{T}$ aber bezeichnet die Phase, welche sich jedesmal in der Zeit T einer Hin- und Herbewegung wiederholt.

Phasen, die immer um eine ganze Anzahl Schwingungszeiten τ oder Kreisumfänge 2π verschieden sind, nennt man gleiche Phasen, weil sie in gleichen Richtungen der Bewegung so wie gleichen Ausweichungen und Geschwindigkeiten des schwingenden Theilchens entsprechen. Die Phasen $2\pi \frac{t}{T}$ und $2\pi \frac{t + mT}{T}$ sind einander gleich, wenn m eine ganze Zahl bedeutet.

Phasen wie c und d (Fig. 222), welche um einen halben Kreisumfang oder eine ungerade Anzahl halber Umfänge verschieden sind, werden entgegengesetzte genannt. So sind die Phasen $2\pi \frac{t}{T}$ und $2\pi \frac{t \pm (m + \frac{1}{2})T}{T}$ entgegengesetzte, weil sie für gleiche Ausweichungen und Geschwindigkeiten

der Schwingungsbogens durch die Pendellänge. Daher für Bogen 1 ist $u = m \frac{1}{l}$

$$A = \sqrt{\frac{g}{l}} \text{ somit die Schwingungszeit } t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

nach Experimentalphysik.

des Theilchens, entgegengesetzten Richtungen der Bewegung entsprechen. (Schwerd, die Beugungserscheinungen etc. Einleitung.)

Die vorstehenden Sätze und Betrachtungsweisen gestatten eine häufige Anwendung. Hauptsächlich aber sind sie von Wichtigkeit für das Studium der fortschreitenden Schwingungen oder der Wellenbewegungen, von welchen wir jetzt einige der wichtigsten Fälle ausführlicher untersuchen wollen; und zwar zunächst vorzugswise von dem theoretischen Gesichtspuncte aus, von dem aus sie sich als unmittelbare und nothwendige Folge der allgemeinen optischen Grundgesetze ergeben. Man wird daraus die Erkenntniss schöpfen, dass die Kräfte, welche die kleinsten Theilchen der Körper beherrschen, in einer so höchst merkwürdigen Wechselwirkung stehen, dass die Bewegung auch nicht eines einzigen materiellen Punctes möglich ist, ohne dass nicht stufenweise seine weiteste Umgebung genöthigt wird, daran Antheil zu nehmen.

491. Wellen durch Biegung gespannter fadenförmiger Körper. — Man weiss, dass wenn ein beliebiger Punct einer gespannten Schnur rasch einen Stoss erhält, die dadurch anfangs nur an der gestossenen Stelle bewirkte Ausbiegung sich nach beiden Seiten hin fortpflanzt und an entfernteren Puncten beobachtet werden kann, während die gestossene Stelle schon wieder zur Ruhe zurückgekehrt ist.

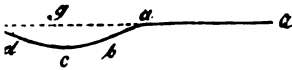
Wird der Versuch mit einem wenigstens 50 Fuss langen und $\frac{1}{3}$ Zoll dicken, nicht stark gespannten Seile angestellt (Wellenlehre der Gebrüder Weber S. 443) so lässt sich die Erscheinung leicht mit dem Auge verfolgen. Man sieht dann die an einem Ende hervorgebrachte Ausbiegung in bestimmt begränkter Länge nach dem andern Ende fortlaufen, von dort in umgekehrter Lage, (z. B. die Erhabenheit der Biegung nach unten gewendet, wenn sie vorher oben war) zurückkehren und so mehrmals den Weg dem Seile entlang beschreiben, bis endlich durch äussere Hindernisse und Reibung der Theilchen aneinander der Trieb der Bewegung erschöpft wird. Diese hin und her laufende Ausbiegung wird eine Welle genannt und die Länge des ausgebogenen Stückes ihre Länge.

Bei mässiger Spannung des Seils ist leicht wahrzunehmen, dass die Länge der Welle nicht von der Stärke der Ausbiegung sondern von der Zeit des Stosses abhängt. Je kürzer die Zeit, welcher einem Theile des Seils die transversale Geschwindigkeit eingeprägt wurde, um so kürzer ist die fortlaufende Welle. Er man in rascher Folge mehrere Wellen, immer an derselben Stelle, so laufen sie hinter einander her, ohne dass, auch bei ungleicher Stärke der Ausbiegung und selbst ungleicher Länge, eine die andere stört. Man erkennt hieraus, dass die Geschwindigkeit des Fortschreitens der Seilwellen weder von ihrer Stärke noch von ihrer Länge abhängig ist. Dagegen vermindert sich die Fortschritts-Geschwindigkeit der Welle bei zunehmendem Gewichte der Seile, und wächst bei zunehmender Spannung, so dass bei stark gespannten Schnüren und Saiten die Beobachtung für die

und mehr unsicher wird. Was jedoch dem Versuche Zeit entgeht, lässt sich mit Berücksichtigung der allgemeinen Gesetze durch Betrachtungen und durch Rechnen.

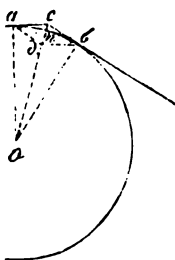
PQ (Fig. 223) bedeute einen durch das Gewicht P gespannten Faden, $a b c d e$ die daran von P nach Q laufende Welle; c den tiefsten Punkt der Biegung. Alle zwischen e und c befindliche Theilchen sind im Begriffe sich zu heben und, in der Lage $c g$ angekommen, zur bleibenden Ruhe

Fig. 223.



en, alle zwischen c und a liegende Theilchen senken sich, so dass a nach dieselbe Senkung wie das Theilchen c annehmen wird. — h den Faden vollkommen biegsam, so kann die Bewegung der e n Linie PQ entfernter Theilchen nur darauf beruhen, dass Jedes Scheitelpunkt eines Winkels darstellt, welchen die Tangenten dasselbe einschliessenden Punkte der Biegung mit einander

und b zwei, ein beliebiges Theilchen c der Wellenbiegung (Fig. 224) zunächst begränzende Punkte; ac und bc die Tangenten der Punkte a und b , deren Richtungen in c zusammenstossend, den Winkel acb bilden; so muss vermöge der Spannung der Saite in der Richtung dieser Linien, ein mittlerer Druck gegen den Mittelpunkt o der Krümmung entstehen, dessen Grösse auf folgende Weise bestimmt werden kann. Der von c gegen a so wie von c gegen b ausgeübte Zug ist gleich der Spannung des Fadens, gleich P . Die resultirende Kraft K verhält sich daher zu P wie $cd : ac$. Man ziehe an rechtwinklig auf cd ; man hat dann Dreieck acn ähnlich aco , weil beide rechtwinklige Dreiecke den Winkel acn gemein haben. Es ist daher $oc : ac = ac : \frac{1}{2} cd$; folglich auch $ac :$



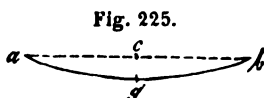
und da $oc = r$, die gesuchte Kraft $K = 2 \cdot ac \frac{P}{r}$. Der

l. der Abstand der dem Punkte c zunächst liegenden Theilchen ist unveränderlich. K wächst folglich mit der Spannung und um der Krümmungshalbmesser.

Vorgänge der Wellenbildung und aus der Weise ihres Fortschreitens schliessen berechtigt, dass die Krümmung der Wellenlinie in der Punkte a und e und in der Mitte c am stärksten ist, dass sie sich gegen b und d hin, deren Lage $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$ der Wellenlänge entspricht, und an diesen Punkten selbst verschwindet. Man muss deshalb den der Wellenbiegung unterscheiden, deren jede gleich $\frac{1}{4}$ der Wellenlänge ist. Der vorderste Theil ab kehrt seine Convexität gegen die Ruhelage, die beiden folgenden Theile bc und cd ihre Concavität, der vierte Theil de wieder seine Convexität. Daraus erkennt man nun zunächst, dass der vorderste Theil ein Bestreben sich zu senken allmählig von a nach Q hat, denn bei allen Theilchen zwischen a und b äussert sich gegen den Mittelpunkt ihrer Krümmung, d. h., mässige Biegung, fast senkrecht abwärts. Die hieraus entspringende Bewegung tritt ein, ohne dass die folgenden noch ruhenden Theilchen ebenfalls eine Biegung erleiden.

Es ist einleuchtend, dass während des Fortschreitens der Welle ein jedes Theilchen des Fadens nach und nach alle Lagen annehmen muss, die durch das Bogenstück ab bezeichnet sind. Das betreffende Theilchen ist folglich in allen diesen Lagen einer beschleunigenden Kraft ausgesetzt, wodurch es sich mit zunehmender Geschwindigkeit senken muss. Diese Geschwindigkeit hat bei a , wo die Krümmung eine kurze Strecke aufhört um dann in die entgegengesetzte überzugehen, ein Maximum erreicht. Während dann das Theilchen die verschiedenen durch das Bogenstück bc bezeichneten Lagen annimmt, ist es der Einwirkung verzögernder Kräfte ausgesetzt. Die Bewegung dauert nur im früheren Sinne fort, aber die Geschwindigkeit mindert sich wieder und ist in dem Augenblicke, da das Theilchen die Stellung c erreicht hat, völlig loschen. In dieser Lage der stärksten Biegung ist eine dauernde Ruhe unmöglich. Das Theilchen wird vermöge der Beschaffenheit der Krümmung alsbald wieder aufwärts getrieben, gewinnt bei der Ankunft in der Höhe d zum zweitenmal ein Maximum der Geschwindigkeit, wird dann im letzten Viertel seiner Bahn wieder verzögert und gelangt endlich bei der Ankunft in e zur bleibenden Ruhe. Ein beliebiges Theilchen a des Fadens beschreibt also in der Zeit, während die Welle an ihm vorüberschreitet und in dem es nach und nach alle durch die Wellenbiegung bezeichneten Lagen annimmt, einen gegen die Linie PQ senkrechten Weg gc einmal hin und einmal her. Es ist, während es diese Schwingung vollendet, einer veränderlichen Kraft unterworfen, welche sich nach einseitigen Gesetzen wie der jedesmalige Weg verhält, den es beschleunigt oder verzögert noch zurückzulegen hat.

Die Ausbiegung einer gespannten Saite bedingt zwar stets eine Dehnung und dadurch eine Vermehrung der Spannung. Setzt man jedoch die geringste Senkung als sehr klein gegen die Länge ab voraus, so ist die Zunahme der Spannung so gering, dass man ohne einen merklichen Fehler zu begehen, die Spannung an allen Punkten der Biegung als gleich und gleich P betrachten darf.



Wenn ein an einer gespannten Saite ab (Fig. 225) angehängtes Gewicht K die Senkung cg bewirkt, so verhält sich nach dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte:

$$K : P = 2 \cdot cg : gb;$$

wenn man dann ferner mit Rücksicht auf die als sehr gering angenommene Biegung setzt: $gb = cb$, so wird

$$K : P = 2 \cdot cg : cb; \text{ also } K = \frac{2 \cdot cg \cdot P}{c \cdot b}$$

D. h. bei einem und demselben Faden oder bei immer gleicher Länge der Biegung steht die biegende Kraft K im zusammengesetzten Verhältnisse der Spannung und der Senkungstiefe oder des Pfeils.

Durch Entfernung von K würde die Saite sogleich aufwärts schrecken. K steht folglich im Gleichgewichte mit allen über die Saite verbreiteten senkrecht aufwärts wirkenden Kräften. Man kann eine jede der 4 Abtheilungen der Wellenbiegung $abcde$ (Fig. 223) der Hälfte einer gebogenen Saite vergleichen, deren ganze Länge gleich der halben Wellenlänge Die Summe der Kräfte einer Abtheilung, z. B. über das vorderste Stück ab der Welle, in irgend einem Augenblicke vertheilten senkrechten Kräfte lässt sich daher einem Gewichte

$$K = \frac{2 \cdot \frac{cg}{2} \cdot P}{\frac{l}{2}} = \frac{2 \cdot cg \cdot P}{l}$$

gleichsetzen, wenn man mit l die Hälfte einer Wellenlänge bezeichnet.

Es sei t die Zeit, in welcher die Bewegung an einem beliebig langen, gespannten Faden PQ um ab , d. h. um ein Viertel Wellenlänge fortrückt. Es

Wie sich ab in n kleine, ganz gleiche Abschnitte zerlegt, so ist $\frac{t}{n}$ die Zeit, in welcher irgend ein Theilchen $\frac{ab}{n}$ seine Beschleunigung auf das vorliegende Theilchen überträgt und dafür die des folgenden übernimmt. Ein Theilchen bei a , welches eben in die Welle eintritt, muss daher in der Zeit t fortwährend durch alle die senkrechten Kräfte getrieben werden, welche gleichzeitig das Bogenstück ab beleben und deren Summe gleich K ist, und zwar von jeder derselben während eines Zeittheilchens $\frac{t}{n}$. Die bei der Ankunft in b gewonnene Geschwindigkeit muss daher genau so gross sein, als wenn die Masse $\frac{ab}{n}$ des Theilchens, nur während eines einzigen Zeitabschnittes $\frac{t}{n}$, jedoch durch die ganze Kraft K getrieben worden. Die grösste Schwingungsgeschwindigkeit ist daher (112);

$$c = g \frac{K}{ab/n} \cdot \frac{t}{n} = g \frac{K \cdot t}{ab};$$

indem man die Masse $ab = \frac{l}{2} \cdot f \cdot s$ und für K den oben gefundenen Werth setzt:

$$c = g \frac{4 \cdot c \cdot g \cdot P}{l \cdot l \cdot f \cdot s} t.$$

bedeutet hier die Querschnittsfläche und s das Gewicht der Kubikeinheit der Saite.

Nun ist aber auch, indem man beachtet, dass die mittlere beschleunigende Kraft eines jeden Theilchens

$$\frac{K}{ab} = \frac{2 \cdot 2 \cdot c \cdot g \cdot P}{l \cdot l \cdot f \cdot s}$$

trägt, nach bekannten Gesetzen (No. 112) die Schwingungsgeschwindigkeit:

$$c = \sqrt{2g \frac{2 \cdot 2 \cdot c \cdot g \cdot P}{l \cdot l \cdot f \cdot s} \frac{cg}{2}} = \frac{2 \cdot cg}{l} \sqrt{\frac{g \cdot P}{f \cdot s}};$$

woher indem beide Werthe von c einander gleich gesetzt werden, nach den erforderlichen Reductionen:

Die Zeit, in welcher eine Querwelle um ein Viertel ihrer Länge fortschreitet:

$$t = \frac{l}{2} \sqrt{\frac{f \cdot s}{g \cdot P}};$$

Die Zeit T der ganzen Schwingung des Theilchens, oder die Zeit, in welcher die Welle um eine ganze Wellenlänge fortrückt, viermal so gross. Also

$$T = 2l \sqrt{\frac{f \cdot s}{g \cdot P}}$$

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Welle an einem biegsamen Faden fortschreitet ergibt sich hiernach:

$$v = \frac{2l}{T} = \sqrt{\frac{g \cdot P}{f \cdot s}}$$

D. h. sie verhält sich direkt wie die Wurzel aus der durch welche die Einheit der Querschnittsfläche einer spannt ist, und umgekehrt, wie die Wurzel aus der Dicht Stoffes.

Die Gebrüder Weber haben die Richtigkeit dieses Gesetzes, Euler durch theoretische Untersuchungen gekommen war, durch einer gespannten Schnur geprüft. (Wellenlehre S. 460). Die Schnur einem bestimmten Augenblicke mit dem Finger gestossen; dann m Hülfe einer Tertienuhr die Zeit, welche die erzeugte Welle bedurft 4 mal zu ihrem Ausgangspuncte zurückzukehren, d. h. die Länge d bis 4 mal hin und her zu laufen. Zunächst zeigte sich, dass diese Z len von ungleicher Grösse immer dieselbe blieb, so lange die Spa verändert wurde, und dass die Geschwindigkeit des Fortschreitens nig durch die abnehmende Stärke der Wellen eine Aenderung erfuh

Als hierauf die Schnur in drei Versuchs-Reihen ungleich gespa jede Spannung die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle geme ergaben sich dafür fast genau dieselben Werthe, die aus den beka nungen und dem bekannten Gewichte und der Länge der Schnur nung hervorgingen.

492. Wenn an einem sehr langen, gespannten Fad sache der Wellenbildung fort dauert, in der Weise, dass a in demselben Augenblicke, da er zur Ruhe gekommen selben Kraft, wie eine Zeitperiode T vorher wieder abgel so reiht sich der fortlaufenden Welle, ohne sie zu stör telbar eine neue an. In gleicher Weise kann ein ganze einander folgender Wellen entstehen. Jedes Eleme Zuges schwingt dann in gleichen, jedoch von einen zum andern ungleichzeitigen Perioden hin und her, die Bewegung dem Faden entlang immer weiter fortscl

Die Ausweichungen der verschiedenen einer Welle angehörend aus der Lage der grössten Schwingungsgeschwindigkeit, oder so v dahin gewonnenen oder wieder verlorenen Geschwindigkeiten las Hülfe der Gleichungen (I) und (II) No. 489 graphisch darstellen.

Man beschreibe zu dem Ende mit dem Radius $co = \frac{1}{2} cg$ (zu Pl. V), welcher die grösste Schwingungsweite eines Theilchens vor Kreis, zerlege jeden der vier Quadranten in eine gleiche Anzahl Th 4 u. s. w. und bestimme die diesen Zeitbögen zugehörigen Cosinuss 2 b u. s. w.

Man ziehe dann die gerade Linie ox und theile den Längenal derselben, welcher eine ganze Wellenlänge bedeutet, in eben so v Theile, wie vorher den Kreisumfang, z. B. in 12. Auf den Theil errichte man die senkrechten Lienen oc ; $1a$; $2b$ u. s. w. (welche d sen der Bögen $o, o1, o2$ u. s. w. gleich sind) über oder unter der Li dem der betreffende Cosinus mit dem positiven oder negativen Zei tet ist. Endlich verbinde man die verschiedenen Endpuncte der durch eine krumme Linie, so zeigt diese, wenn man die Zahlen 0, 1 bis 12 als die aufeinander folgenden gleichen Abschnitte der Zeit T für ein beliebiges Theilchen der schwingenden Saite seine Abstä Gleichgewichtslage, d. h. von der Lage der grössten Schwingungsg keit, für jede Phase der Schwingungszeit T . Denkt man sich aber Linie oq als eine Reihe aufeinander folgender materieller Puncte q

ben die von diesen Punkten auf der geraden Linie errichteten und bis zur unnen Linie geführten Senkrechten, die augenblicklichen Schwingungswelten, worin diese verschiedenen Punkte einer Welle sich gleichzeitig befinden.

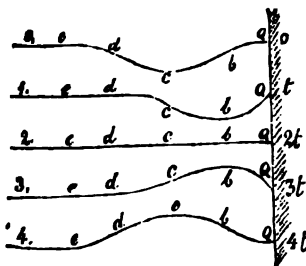
Auf ähnliche Weise lassen sich die gleichzeitigen Schwingungsgeschwindigkeiten sämtlicher Theile einer oder mehrerer Wellenlängen durch eine unne Linie darstellen, indem man statt der Cosinuse die Sinusse der Zeiten auf der geraden Linie ox als Ordinaten aufträgt. Der Radius des Theilungskreises ist in diesem Falle der grössten Schwingungsgeschwindigkeit gleich zu setzen.

Beide Linien sind in Fig. 5, Pl. V, von gleichen Ausgangspunkten beginnend, unter einander gestellt. Sie gestatten, das Verhältniss der Schwingungswelten und Geschwindigkeit in jeder Schwingungsphase mit einem Blicke zu ersehen.

So sieht man, dass die grösste Geschwindigkeit mit dem Uebergange der positiven in die negative Ausweichung, d. h. der beschleunigten in die verzögerte Bewegung zusammenfällt, dass im Augenblicke der grössten Ausweichungen jedesmal die Geschwindigkeit 0 eintritt u. s. w.

493. Wenn eine Welle am Befestigungspuncte Q der Schnur angekommen ist, also die Lage $Qbcde$ (Fig. 226) angenommen hat, so wird sie durch den Widerstand dieses Punctes zurückgeworfen. D. h. die Bewegung wird nach bekannten Gesetzen der Elasticitätslehre am Befestigungspuncte erst aufgehoben, dann mit einer der früheren, gleichen Stärke, aber im entgegengesetzten Sinne zurückgegeben.

Fig. 226.



Das vorderste Theilchen Q der Wellenbiegung, nämlich der Befestigungspunct selbst kann nicht mehr in die Bewegung hineingezogen werden und die auf denselben übertragenen Stösse, in ihrer Rückwirkung, haben sich nach der Zeit $t = \frac{1}{4}$ der Schwingungsperiode bis zu dem Puncte b des Fadens fortgepflanzt, in demselben Augenblicke, da dieser Punct im Verlaufe seiner

Schwingung an der Stelle seiner grössten Ausweichung angeht ist. (Fig. 226. 1.) Das noch im Fortschreiten begriffene Wellenstück cb der ursprünglichen Welle ist dadurch mit dem zurückgeworfenen Qb ganz zusammengefallen. Weil aber beider Bewegungen entgegengesetzt und die entgegengesetzten Geschwindigkeiten jedes Theilchens in diesem Augenblicke gleich sind (man vergleiche Fig. 5 Pl. V), so heben sie sich wechselseitig auf. Alle Theile des Fadenstückes Qb (1) befinden sich ihrer jetzt in Ruhe und im Zustande möglichst starker Ausbiegung, während die hintere Hälfte cde der Welle in die Lage bcd gelangt und in aufsteigender Bewegung befindlich ist. Die Welle hat die Gestalt $Qbcd$ erhalten. Die Pfeilhöhe ist die doppelte gemessen früher; die beschleunigende Kraft ist daher ebenfalls verdoppelt.

pelt (No. 491). Gleichzeitig mit dem Punkte c des hintersten Wellentheiles, nämlich nach Verlauf des zweiten Viertels der Schwingungsperiode müssen daher alle Punkte der Welle in die Lage eQ (Fig. 226. 2) eintreten, so dass die Schnur einen Augenblick als gerade Linie erscheint. Da jedoch alle zwischen c und Q befindlichen Theile vermöge der Gestalt der Biegung fortdauernd beschleunigt wurden, so haben sie im Augenblicke der Ankunft in der geraden Linie ein Maximum der Geschwindigkeit angenommen und müssen daher ihre Bewegung auf der andern Seite fortsetzen; ganz so wie es geschehen müsste, wenn bei b ein Stoss von unten nach oben erfolgt wäre. Wieder nach $\frac{1}{2}$ der Schwingungsperiode oder im Ganzen nach der Zeit $3t$, ist dadurch die Ausbiegung $debQ$ (Fig. 226. 3) entstanden, und endlich nachdem eine ganze Schwingungsperiode verflossen ist, hat sich eine vollständige der früheren gleiche Welle über der Linie entwickelt, die dann in gewöhnlicher Weise der Schnur entlang, jetzt jedoch über derselben fortläuft. Man nennt sie die zurückkehrende oder zurückgeworfene (reflectirte) Welle. Dieselbe Erscheinung wiederholt sich dann am andern Befestigungspunkte u. s. f. bis der durch den anfänglichen Stoss bewirkte Bewegungstrieb durch Bewegungs-Hindernisse erschöpft ist. Man sieht nun, warum eine Welle, die an einer langen Schnur einmal hin und herläuft, dazu dieselbe Zeit braucht, als wäre sie am Ende einer Schnur von doppelter Länge nur ein einziges Mal angekommen. —

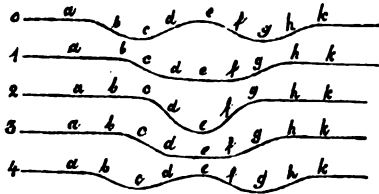
494. Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen von ihrer Stärke und Länge ganz unabhängig ist, so lange sich die Spannung und sonstige Beschaffenheit der Schnur nicht verändert, so kann eine nachfolgende Welle die ihr voreilende niemals erreichen. Wenn jedoch die erzeugende Ursache in der Nähe des einen Endpunktes P einer gespannten Schnur PQ in einer solchen Zeitfolge zur Wirksamkeit kommt, dass die neue Welle in dem Augenblicke entsteht, als die frühere an demselben Punct P eine zweite Zurückwerfung erfahren hat, so fallen beide Wellen zusammen und müssen sich als eine einzige verstärkte Welle fortbewegen.

Man nehme an, das gespannte Seil werde näher der Mitte erschüttert; so pflanzt sich von dem Erschütterungspuncte aus, unmittelbar darauf wieder in Ruhe kommt, nach jeder Seite eine Welle von gleicher Stärke fort. Beide von den Befestigungspunkten zurückgeworfen, müssen dann an irgend einem Punkte zusammenreffen. Von diesem Augenblicke an läuft während der Zeit einer halben Schwingungsperiode jede Welle gleichsam an der Biegung der andern fort, bis beide in einem Augenblicke in demselben Raume zusammenfallen und eine einzige Welle von doppelter Stärke bilden. Da aber die Bewegung nach beiden Sei-

fortschreitend ist, so muss diese Welle sich alsbald wieder in früheren Bestandtheile auflösen, die dann nach entgegengesetzten Richtungen an dem Seile fortlaufen.

In Fig. 227 (0 bis 4) sind die verschiedenen Lagen beider Wellen im Hinblick des Zusammentreffens und nach dem ersten bis letzten Viertel einer Schwingungsperiode dargestellt.

Fig. 227.



495. Wenn die Länge einer in der Mitte angestossenen Saite beziehungsweise zur Zeit der Einwirkung nicht mehr als eine halbe Wellenlänge beträgt, so beginnt die Zurückwerfung von beiden Befestigungspunkten, bevor sich die Welle in ganzer Ausdehnung entfalten konnte; und in demselben Augenblick, da der angestossene Punkt seine grösste Ausweichung vollendet, d. h. nach der Zeit einer halben Schwingungsperiode, hat sich auch der Einwirkungspunkt der Reflexion von beiden Seiten her wieder bis zu diesem Punkte fortgepflanzt. Alle Theile der Saite mussten daher, jeder an der Gränze seiner möglichen Ausbiegung zur vorübergehenden Ruhe gelangen. Unmittelbar darauf beginnen alle gleichzeitig die Rückbewegung, und erreichen, ganz so wie es das Gesetz der Wellenfortpflanzung erfordert, nach der Zeit t , d. h. nach dem vierten Theil der Zeit einer Schwingungsperiode die Gleichgewichtslage ag (Fig. 228).

Fig. 228.



Weil sie aber während der Rückkehr in diese Lage fortwährend beschleunigt worden sind; so müssen sie ihre Bewegung auf der andern Seite der Linie ag mit der erlangten Geschwindigkeit wieder fortsetzen; bis sie wieder nach der Zeit t in der Lage adg von Neuem zur Ruhe kommen. Eine halbe Schwingungsperiode später befindet sich die Saite wieder in der Lage $ae g$, und abermals nach der Zeit $2t$ in der Lage adg u. s. f. Man sieht, die Schwingungen sind stehend geordnet.

Die Zeit einer Hin- und Herbewegung, oder die Zeit einer vollen Schwingungsperiode einer transversal schwingenden Saite ist also wie bei den fortschreitenden Schwingungen (491)

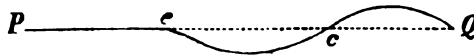
$$4 t = T = 2 l \sqrt{\frac{l s}{g P}}$$

wo $l = ag$, die Länge der Saite, oder die Hälfte einer Wellenlänge bedeutet.

Dieses Gesetz gilt für biegsame gespannte Fäden und Saiten alle z. B. für Klavier- und Violin - Saiten u. s. w. Alle diese vollbringen als Hin- und Herbewegung in derselben Zeit, in welcher sich der Eindruck Erschütterung von einem Befestigungspuncte zum andern und wieder bewegen kann.

496. Die Linie PQ (Fig. 229) mag eine gespannte Schnur nicht weniger als 10 bis 15 Fuss Länge vorstellen. Eine

Fig. 229.



von der Länge Qc , in der Richtung von P nach Q laufend, sei zu Befestigungspuncte Q angekommen, hier zurückgeworfen; eine halbe Schwingungsperiode später eben im Begriffe die Linie zu erheben, als der vorderste Punkt einer nachfolgenden gleich starken Welle den (in demselben Augenblicke zur Ruhe gekommenen) Punkt c erreicht. Dieser Punkt nunmehr von gleichen Kräften in entgegengesetztem Sinne gezogen, muss in der Lage verharren und verhält sich daher gegen beide Wellen wie fester Punkt, d. h. beide werden von demselben zurückgesetzt, in dem Augenblicke, da beide Wellen in Folge der Zerwerfung durch die Linie PQ schwingen, werde auch der c festgehalten, so kommen beide zum Stehen, ohne dass der c , weil er fortdauernd von gleichen und entgegengesetzten Kräften gezogen wird, an ihrer Bewegung Theil nehmen kann.

Hat man mehrere Wellen, oder einen ganzen Zug entstehen erzeugt, dass immer eine um den Abstand einer ganzen Wellenlänge hinter der andern zurück ist, so wird sich jede die ihr vorhergehende auf ähnliche Weise verhalten. Die Schnur muss dadurch in eine Anzahl Abtheilungen zerfallen durch einen unbeweglichen Punkt, einen sogenannten Knotenpunkt getrennt, Hin- und Herbewegungen, oder Schwingungen, abwechselnd über und unter die Linie vollziehen. Alle diese Knotenpunkte stehen gleich weit von einander ab, der Abstand je zweier derselben kommt dem einer halben Wellenlänge gleich.

Fig. 230.



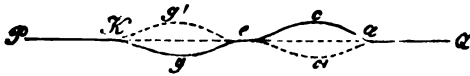
Ein schlaff gespanntes Seil oder schraubenförmig gewundener Draht läßt sich bei einiger Uebung in der Anstellung leicht in einfache Schwingungen setzen oder auch nach Willkühr in zu

mehr stehende Wellen, je zwei durch einen Knotenpunkt getrennt, liegen. Fig. 230 stellt ein Seil vor, an welchem drei durch die Knotenpunkte c und e stehende Wellen gebildet sind. *)

In ähnlicher Weise wird jeder gespannte Faden durch die Reflexionen eines am gebildeten Zuges gleich grosser Wellen allmählig genöthigt, in eine kleinere oder geringere Anzahl gleicher Abtheilungen zu zerfallen, welche nach Schwingungsknoten getrennt sind und in gleichen Perioden hin und her schwingen. Bei stark gespannten Schnüren und Saiten von geringer Dicke lässt sich zwar die Erscheinung nicht mehr mit dem Auge verfolgen. Der Weis kann aber, wie wir später sehen werden, dennoch mit gleicher Sicherheit durch die Beschaffenheit der dadurch entstehenden Töne geführt werden.

496. Augenblicke, eine vom Punkte Q (Fig 231) zurückgeworfene Welle ae stosse mit einer später erzeugten gleich-

Fig. 231.



starken Welle Ke am Punkte e zusammen, der von den Endpunkten P und Q der Schnur so weit entfernt liegt, dass beide Wellen Augenblicke ihres Zusammentreffens vollständig entwickelt sind.

Da beide nach Voraussetzung von gleicher Stärke sind, so vermögen sie den Punkt e nicht in Bewegung zu setzen und müssen also an demselben abprallen. Die bisher unter der Linie PQ fortschreitende wirft sich während der Zeit einer ganzen Schwingungsperiode auf die obere Seite, und genau in derselben Zeit gelangt die vorher ober der Linie befindliche unter dieselbe. Dann kehren beide ihren Rückweg; dergestalt, dass es ganz den Anschein hat, als ob beide Wellen, ohne sich wechselseitig zu stören, an einander vorübergegangen wären. Im Augenblicke des beschriebenen Wechsels in der Lage der Wellen, verschwindet die Biegung der Schnur, wie wenn beide Wellen sich wechselseitig nicht trüfften hätten. In der That ist aber nicht die Bewegung, sondern nur auf einen Augenblick die Biegung aufgehoben.

Sind beide zusammenstossende Wellen von ungleicher Stärke, wird der Punkt e nur durch ihren Unterschied in Bewegung getrieben. Man kann sich dann die stärkere Welle ace aus zwei Wellen zusammengesetzt, vorstellen, von welchen die eine der beiden Kge gleich und entgegengesetzt ist; so dass beide sich

*) Weber (Wellenlehre S. 468) empfiehlt das an einem Ende befestigte Seil am andern mit der Hand zu fassen. Am besten gelingt der Versuch, wenn dieses Ende nicht blos in einer Ebene aufwärts und abwärts, sondern mehrmals Kreise herumgeführt wird. Man sieht dann Wellen entstehen, die allmählig stehende Schwingungen übergehen. Die Anzahl Schwingungsknoten hängt von der Stärke der Spannung und der Schnelligkeit der Umdrehung ab.

wechselseitig zurückwerfen müssen. Dagegen der Ueberschuss der Welle $a e$ schreitet ungestört fort, dergestalt, dass er nach der Zeit einer ganzen Schwingungsperiode mit der zurückgeworfenen Welle $K g' e$ zusammenfallen und diese verstärken muss. Das Endresultat der wechselseitigen Einwirkung beider ursprünglichen Wellen ist also wieder von der Art, wie wenn beide ungestört an einander vorüber gegangen wären.

Die Erscheinungen des Zusammentreffens und Uebereinanderfallens verschiedener Wellen, wodurch sich dieselben an gewissen Stellen bald wechselseitig verstärken, bald theilweise oder ganz aufheben können, ohne dass die wirkliche Grösse der vorhandenen lebendigen Kraft dadurch eine Aenderung erleidet, nennt man Interferenzen. Der Uebergang einer fortschreitenden Welle in stehende Schwingungen beruht auf einer Interferenz derselben mit reflectirten Wellen.

Körper, welche schon durch innere Steifigkeit elastisch sind, wie Glasfäden, Metalldrähte, Stäbe, Röhren, besitzen, ähnlich wie die gespannten Saiten, die Fähigkeit, Querschwingungen fortzuleiten. Die Gesetze dieser Schwingungen sind jedoch viel verwickelter als die der biegsamen fadenförmigen Körper und eignen sich nicht für die elementare Erläuterung.

497. Fortschreitende Längenschwingungen. Wenn eine elastische Säule von beliebigem Stoffe in der Richtung der Länge gezogen oder gedrückt wird, so pflanzt sich die an der Stelle der ersten Einwirkung eintretende Veränderung durch Längenschwingungen fort.

Fig. 232. Sei $a c$ (Fig. 232) ein Stück einer sehr langen elastischen Säule, deren Querschnitt gleich der Flächeneinheit. Die Elasticität des Stoffes innerhalb der Grenzen der bisherigen Einwirkungen sei vollkommen, und E der Modulus derselben. Ein angehängtes Gewicht E würde also die Längeneinheit aufs doppelte ausziehen können. Durch einen Bruchtheil dieses Gewichtes, δE würde die Länge 1 um δ , eine beliebige Länge l um δl vergrössert werden. Angenommen die Kraft δE wirke, sei es dehnend oder verdichtend, nur vorübergehend während einer Zeit t und der Eindruck ihrer Wirksamkeit pflanze sich in dieser Zeit um die Länge $a b = l$ fort. — Man denke sich das Stück l der Säule in n^*) gleiche hohe Schichten abgetheilt und eben so die Zeit t in n gleiche Unterabtheilungen gebracht. In dem ersten dieser Zeittheilchen beginnt die Bewegung der ersten Schicht. Der hierdurch gebildete Spannungszustand der ersten Schicht äussert sich als bewegende Kraft auf die zweite, so wird diese in dem zweiten Zeittheilchen in die Bewegung

*) n bedeute eine so grosse Zahl, dass die Höhe jeder Schicht, dem Abstände von einem Atome zum andern gleich kommt.

en, während die erste unter der fortdauernden Einwirkung der Kraft δE von Neuem beschleunigt wird, also sich stärker und gemäss dieser Spannung im dritten Zeittheilchen auf die zweite Schicht gerade so beschleunigend einwirkt, wie sie im zweiten Zeittheilchen beschleunigt wurde. Derselbe Bewegungszustand, welchen die erste Schicht im zweiten Zeittheilchen angenommen hatte, wird dadurch im dritten Zeittheilchen der zweiten Schicht eingeprägt. Gleichzeitig gewinnt die dritte Schicht die Bewegung der ersten im ersten Zeittheilchen, die zweite im zweiten u. s. f. bis endlich nach Verlauf der Zeit t die n te Schicht von der Bewegung in demselben Augenblicke ergriffen wird, da die erste Schicht mit der grössten Spannung, welche der Kraft δE das Gleichgewicht hält, zugleich ihre grösste Geschwindigkeit angenommen hat. Die Wegeslänge l , um welche sich auf diese Weise der erste Eindruck in der Zeit t fortbewegt hat, hängt für eine gegebene gleichartige Säule durch die Dichtigkeit δ von dieser Zeit der äusseren Einwirkung ab und ist ganz unabhängig von der Beschaffenheit des Werthes δ . Denn wenn δ grösser ist, so vergrössern sich zwar die spannenden Kräfte, welche in der Säule in der verschiedenen Schichten erfassen, aber da in denselben Verhältnissen auch die Räume zunehmen, durch welche die Schichten sich bewegen muss (zu vergleichen No. 475), so wird dadurch die Anzahl Schichten, d. i. die Länge des Säulenstückes, welche in derselben Zeit in die Bewegung gezogen wird, vermindert werden. Diese Wegeslänge l wird sich hiernach nicht ändern können, wenn δ einen im Laufe der Zeit unveränderlichen Werth besitzt.

Die Geschwindigkeit womit die Erschütterung gleichförmig vor sich geht, ist daher $V = \frac{l}{t}$.

Die ganze Veränderung, z. B. Dehnung, welche das Säulenstück unter dem Einflusse der Kraft δE erfahren kann, beträgt δl . Diese Dehnung ist aber zu Ende des Zeitraumes t nicht erreicht, denn nur die erste Schicht $\frac{1}{n} l$ hat bereits die ganze derselben entsprechende Spannung und die Verlängerung $\frac{1}{n} \delta l$ erlitten. Gesezt, der Weg den die Querschnittsfläche aa (Fig. 232) vermöge der abnehmenden Spannung aller n Schichten des Säulenstückes ab zurückgelegt hat, sei ae . Einen Zeitraum t später hat sich der Bewegungszustand von $ab = l$ auf $bc = l$ übertragen. D. h. c ist eben beschleunigt zu werden, bei b ist die grösste Geschwindigkeit bereits eingetreten, der Querschnitt bb hat mit zu-

nehmender Geschwindigkeit einen Raum $\delta e' = ae$ beschrieben. Vermöge gewonnener Geschwindigkeit setzte unterdessen a seine Bewegung fort; da jedoch (nach Voraussetzung) das Uebergewicht der äusseren Einwirkung jetzt aufgehört hat, so wirkt der Unterschied der Spannung der ersten und zweiten Schicht verzögernd auf die Bewegung der ersten. Ihre Geschwindigkeit nimmt daher ab, während die der zweiten Schicht in dem nächsten Zeittheilchen $\frac{1}{n} t$ noch zunimmt und das Maximum erreicht. Dann beginnt auch bei der zweiten Schicht die Verzögerung und bei der ersten währt sie fort u. s. w. Am Ende der Zeit $2t$ ist dieser verzögernde Einfluss bis zum Punkte b fortgeschritten und die Bewegung der ersten Schicht ist vollständig zernichtet worden nachdem diese von Neuem einen Raum ae zurückgelegt hatte. Der Zustand des Säulenstücks ab ist in diesem Augenblicke offenbar der umgekehrte von vorher. Alle Theile desselben befinden sich am Schlusse der Zeit t in beschleunigter Bewegung, jetzt bei allen Verzögerung eingetreten. Noch sind sie zwar gespannt aber die stärkste Spannung herrscht bei b , wo sie vorher Null war und bei a hat sie eben aufgehört.

Die Fläche aa hat in der Zeit $2t$ im Ganzen, theils beschleunigt, theils verzögert, den Weg $2 \cdot ae$ beschrieben. Sämmtliche Schichten von l haben unterdessen nach einander das Maximum ihrer Dehnung erfahren, somit je eine Senkung der Fläche aa von der Grösse $\frac{1}{n} \delta l$ bewirkt; $2 \cdot ae$ ist der Ausdruck der Summe

dieser Wege. Es ist daher $2 \cdot ae = n \cdot \frac{1}{n} \delta l = \delta l$. Die Fläche aa

legt also zuerst mit beschleunigter Bewegung den Raum $\frac{\delta l}{2}$

und dann den gleichen Raum mit verzögerter Bewegung zurück, und diese Bewegung pflanzt sich mit der Geschwindigkeit V von Schicht zu Schicht allmählig durch die ganze Säule fort. —

Ein Stück $ac = 2l$ der elastischen Säule, dessen Schichten gleichzeitig an dieser fortschreitenden Bewegung Theil nehmen wird, je nachdem dieselbe von Verdichtung oder Verdünnung begleitet ist: eine Verdichtungs- oder eine Verdünnungswelle genannt. Ihre Länge $2l$ hängt von der Dauer der Einwirkung ab, ihre Stärke, d. h. die Grösse des Weges δl , welchen jede Schicht zurücklegen muss, von der Grösse der Kraft δE . —

Wenn die Ursache dieser Wellenbildung mit gleicher Stärke fortwirkt, aber abwechselnd im Sinne der Dehnung und Verdich-

so muss die Fläche aa unmittelbar nachdem sie zur Ruhe gekommen war, ihren Lauf rückwärts beginnen. Sie wird dann zur derselben Zeit ($2t$) wie vorher den Weg δl , vorher im Sinne der Dehnung, jetzt im Sinne der Verdichtung beschreiben, der erste Eindruck dieser Verdichtung wird auf die Länge $2l$ geschritten und bei der Schicht cc (Fig. 232) angekommen, eben nachdem die letzte Spur der vorhergehenden Dehnung derselben Schicht verschwunden war. Auf diese Verdichtungswelle folgt dann wieder eine Verdünnungswelle u. s. w. Eine Reihe aufeinander folgender Wellen dieser Art, bilden einen Wellenzug. Eine Verdichtungswelle und eine Verdünnungswelle zusammen genommen nennt man gewöhnlich eine ganze Welle, deren Länge hiernach $4l$ beträgt und der Fortpflanzungszeit $4t = T$ entspricht. D. h. jeder durch ein Stück $4l$ der Säule geführte Querschnitt macht in der Zeit T den Weg δl einmal hin und einwieder zurück.

Die Spannung der einzelnen Schichten, welche zusammen verdichteten oder den verdünnten Theil einer ganzen Welle bilden, wächst vom vordersten Punkte bis zur Mitte, wo sie der vollen Grösse der Kraft δE entspricht und mindert sich dann wieder nach dem Ende hin. Die jedesmalige Spannung einer Schicht bezeichnet aber nicht ihre bewegende Kraft; letztere entspricht nicht mehr dem Unterschiede der Spannung der vorhergehenden und nachfolgenden. Diese Unterschiede sind positiv in der vorderen Hälfte, negativ in der hinteren Hälfte der betrachteten Wellenabtheilung und verschwinden in der Mitte. Jede Schicht überträgt die Spannung, welche sie während eines Zeittheilchens t besass, auf die folgende und empfängt dafür die der vorhergehenden. Jede Schicht wird also im Laufe der Zeit t durch die Spannungs - Unterschiede beschleunigt, welche gleichzeitig auf ein Stück l der Säule, oder ein Viertel der ganzen Wellenlänge vertheilt sind und deren Summe der Spannung δE gleichkommt. Der Mittelwerth der Beschleunigung einer beliebigen Schicht im ersten Viertel t ihrer Schwingungsperiode, oder der Mittelwerth ihrer Verzögerung im zweiten Viertel beträgt:

$$G = g \frac{\delta E}{l s}$$

wo G das Gewicht der Kubikeinheit des Stoffes bedeutet.

Da jede Schicht nach und nach durch alle den verschiedenen Spannungsunterschieden zugehörige Beschleunigungen getrieben wird, und zwar von jeder durch die Zeit $\frac{1}{n}t$, so ist es gerade

so, als würde sie während der ganzen Zeit t durch den Mittelwerth G beschleunigt. Die grösste Geschwindigkeit einer Schicht ist demnach:

$$Gt = g \frac{\delta E}{ls} t.$$

Es ist aber auch, wenn man bedenkt, dass die Schicht dem Antriebe der mittleren Beschleunigung den Weg $\frac{\delta l}{2}$ zu legen muss:

$$Gt = \sqrt{2g \frac{\delta E}{ls} \frac{\delta l}{2}} = \delta \sqrt{g \frac{E}{s}}$$

Beide Werthe von Gt einander gleich gesetzt und reducirt man:

$$t = l \sqrt{\frac{s}{gE}} \quad \text{also } T = 4l \sqrt{\frac{s}{gE}}$$

und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Bewegung be durch fortschreitende Längenschwingungen:

$$V = \frac{l}{t} = \sqrt{\frac{gE}{s}}.$$

Die Geschwindigkeit, womit Dehnung oder Zusammenziehung durch eine elastische Säule von beliebigem Stoffe sich pflanzen, verhält sich direkt wie die Wurzel aus dem Elastic Coefficienten, und umgekehrt wie die Wurzel aus der Dichte des Stoffes.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Bewegung ist am grössten in solchen Körpern, die bei geringer Dichtigkeit nur wenig zusammendrücken lassen. In einer Masse, die unzusammendrückbar wäre, müsste sich jeder äussere Eindringling augenblicklich bis auf unendliche Entfernung fortpflanzen.

Der Quotient $\frac{E}{s}$ bedeutet die Länge einer Säule von einem Gewichte, dass dadurch der oberste Zoll auf die doppelte Länge ausgezogen werden müsste (N. 477). Man kann daher sagen: die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Drucks in einer elastischen Säule von beliebiger Dicke verhält sich wie die Wurzel aus einem Längenstücke derselben, durch dessen Gewicht der oberste Zoll zur doppelten Länge ausgezogen werden müsste.

Dieses Gesetz gilt für elastische Körper aller Art und auch für Flüssigkeiten, wenn für E deren Elasticitätsmodulus und für s ihr spec. Gewicht gesetzt wird.

498. Dasselbe Gesetz, welches für Säulen erwiesen ist, gilt aber auch für beliebig gestaltete gleichartige Körpermassen

ch darin die Bewegung, von einem gewissen Punkte aus nach verschiedenen Richtungen ausbreitet. Denn da die Indigheit nicht von der Stärke des Eindrucks, oder von der Länge des Weges, welchen die einzelnen Schichten zurücklegen abhängig ist, so kann dieselbe dadurch nicht verändert werden, dass bei zunehmender Entfernung von dem Ausgangspunkte zunehmende Massen bewegt werden müssen, also die Wirkung der Einwirkung auf jedes einzelne Theilchen mehr und mehr nimmt.

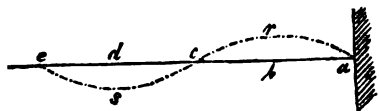
eine Masse, wie z. B. das Wasser oder die Luft, nach allen Richtungen gleich elastisch, so pflanzt sich auch eine darin erzeugte Erschütterung nach allen Richtungen mit gleicher Geschwindigkeit fort, so dass in der Luft gebildeten elastischen Wellen sind mit Kugelschaalen zu vergleichen, die den Erschütterungspunct concentrisch umschliessen und bei stets gleichbleibender Ausbreitung immer grössere Umfänge erhalten.

Körpern die, wie die meisten Krystalle, nach verschiedenen Richtungen eine ungleiche Dehnbarkeit besitzen, pflanzt sich ein Stoss nach den verschiedenen Seiten mit ungleicher Geschwindigkeit fort, so dass verschiedene Punkte einer Masse, an welchen der Eindruck gleichzeitig ankommt, in verschiedenen Erschütterungsmittelpuncte in ungleichen Abständen

ausbreiten, durch die Punkte der gleichzeitigen Ankunft der Welle eine ebene Fläche heisst Wellenfläche.

. Zurückgeworfene Längswellen. — Längswellen schreiten in der vorher beschriebenen Weise fort, so lange das Medium nicht ändert, worin sie sich bewegen. Gesetzt aber in einem elastischen Säule, z. B. in einem Stabe von Metall, oder Holz erregte Welle, sei am Ende desselben angekommen, für welchen wir wollen annehmen, dieses Ende a (Fig 233) sei bestet in einem Schraubstocke eingeklemmt und der vordere Theil der Welle gehe voran. Die krumme Linie $arc\ s e$ zeigt die Phasen der Geschwindigkeiten an, in welchen verschiedene Theile des Stabs sich in diesem Augenblicke befinden. Der Vordertheil ab der verdünnten Wellenhälfte, indem er an dem Befestigungspuncte

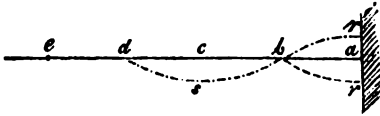
Fig. 233.



an dem Befestigungspuncte a , verliert stufenweise seine Bewegung, empfängt sie nach den elastischen Gesetzen im entgegengesetzten Sinne zurück, so dass durch eine neue, der früheren an Beschaffenheit ganz gleiche Welle von a gegen b vorrückt und den Punct b nach derselben Zeit (t) ergreift, nach deren Verlauf der Hintertheil bc der

verdünnten Wellenhälfte in die Stellung ba eingerückt ist. Schicht des Stückes ab müsste jetzt zwei an Grösse gleiche Richtung nach entgegengesetzte Geschwindigkeiten anmen haben. Alle kommen daher in diesem Augenblicke zur

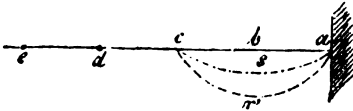
Fig. 234.



aber alle befinden sich im Zustande der A nung, welche bei a ihr Maximum erreicht bei b , dem Ueber puncte zur Verdick

welle, wieder 0 ist. Vermöge dieser Spannung werden gleichzeitig alle Theilchen des Stückes ba in der Richtung von b gezogen, und die hieraus hervorgehende Bewegung hat im Ablauf des zweiten Viertels der Schwingungsperiode (d. Beginn der Zurückwerfung gerechnet, nach der Zeit $2t$) die Punkte c (nämlich $cb = ab = l$) fortgepflanzt; dem Punkte seine grösste Schwingungsgeschwindigkeit eingeflösst; die dünnte Wellenhälfte ist nunmehr vom Befestigungspunkte ständig zurückgeworfen. Alle Theile der Länge ac , welche im Augenblicke des Anstosses der Welle im Sinne von a bewegten, bewegen sich jetzt, eine halbe Schwingungsperiode später, von c nach a . Unterdessen ist aber auch die verdünnte Wellenhälfte am Befestigungspunkte angelangt, oder in die Stellung ca (Fig. 235) eingerückt. Die durch die zurückgeworfene

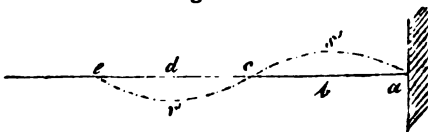
Fig. 235.



dünnte Wellenhälfte bei Dehnung, so wie die verdichtete Wellenhälfte entsprechende Verdichtung, die beiden selben Raum fallen, und sich wechselseitig aufheben

natürliche Spannung der Theilchen ist hergestellt. Zugleich wird sich aber ihre Schwingungsgeschwindigkeiten verdoppelt die Bewegung der Theilchen bei beiden in einander getrennten Wellenhälften nach derselben Richtung, von c gegen a , geschwindig. Durch die Fortdauer dieser Bewegung verdichten sich die Theilchen c und a liegenden Theilchen, die zwischen c und a liegen werden allmählig mit in die Bewegung gezogen und sich ausdehnen. So kommt es, dass am Schlusse der ersten Schwingungsperiode, eine Dehnungswelle, mit einer der früheren

Fig. 236.

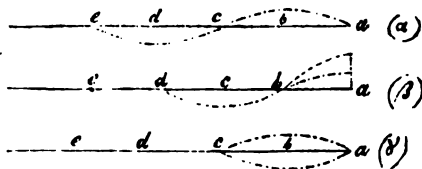


entgegengesetzten Bewegungsrichtung, nämlich von c nach a schreitend, in die Stellung ea (Fig. 236), vollständig entwickelt am Schlusse der zweiten

l, in ähnlicher Weise wie vorher der verdünnte, vom zurückgeworfenen, zur Bildung einer neuen Verdichtung die Veranlassung gegeben hat. Beide Wellenhälften forthin ungestört und in derselben Ordnung wie früher an dem andern Ende des Stabs.

ist die Welle am freien Ende des Stabes an, so wird sie zurückgeworfen. Jedoch ist der Vorgang verschieden am freien Ende a (Fig. 237 α) ist nämlich nicht gehindert, es tritt in alle Phasen der Schwingungsgeschwindigkeit ein, da es aber dieselbe nicht weiter vorwärts gehen kann, und dadurch ein Streben erhält, die in einem beugungsblicke in der Richtung von a gegen c erhaltenen Bewegung der folgenden Zeit fortzusetzen, so wirkt es verdichtend hinter ihm liegenden, bisher ausgedehnten Schichten. Die beginnende Verdichtungswelle schreitet gegen b (Fig. 237 β) und hat diesen Punkt erreicht, wenn der unterdessen

Fig. 237.



fortgeschrittene Hintertheil der Dehnungswelle am Endpunkte angekommen ist. Verdichtung und Dehnung des Stückes ab sind dadurch aufgehoben. Weil aber die Bewegungen der Theile a und b in entgegengesetzte Richtungen sind, so sind die Schwingungsgeschwindigkeiten sämmtlicher Schichten verdoppelt worden. Die verdichtende Einwirkung dauert daher fort und ist bis zum Punkte c (Fig. 237 γ) vorgerückt, eben da die nachkommende Verdichtungswelle dieselben Schichten und in gleichen Phasen hat. Beide entgegengesetzten Bewegungen haben sich vollständig aufgehoben. Alle Theile des Stückes ac befinden sich in Ruhe, aber zugleich im Zustande doppelter, bei b ihrer ursprünglichen Zusammendrückung. Es muss also eine Bewegung von b zugleich gegen a wie gegen c eintreten. D. h. die hinteren Schichten dehnen sich, bei a beginnend, wieder aus, andererseits die Verdichtung von c gegen e hin fortschreitet. Es ist nun leicht, dass der am Punkte a anstossende verfallene Theil durch die Zurückwerfung als Verdünnungswelle erscheint und dass die ganze Welle eine volle Schwingung nach ihrer Ankunft am freien Ende, vollständig, aber

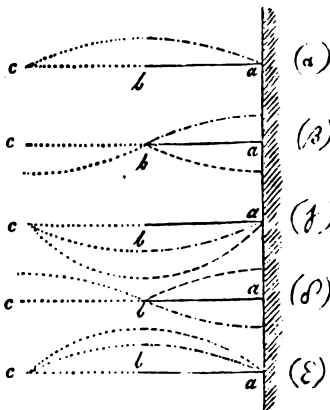
jetzt in verkehrter Ordnung wieder gebildet ist. War vor verdünnte Theil voran, so ist es jetzt der verdichtete Theil umgekehrt.

Die am befestigten oder freien Ende einer elastisch anstossende Welle kann in der Regel nicht vollständig zurückgeworfen werden; weil die Körper, welche beide Endpunkte und den Stoss aufnehmen müssen, nicht absolut fest elastisch sind. Ein Theil der Bewegung dringt daher in sie ein, mehr oder weniger, je nach der Grösse ihrer Dichtigkeit, elastischen Widerstandsfähigkeit, und pflanzt sich durch fort. So dient die schwingende Bewegung der elastisch an ihren Endpunkten, als Ursache der Wellenbildung in angränzenden Mitteln.

Da jede wiederholte Zurückwerfung der Welle von der Säule eine ähnliche Wirkung hat, so begreift man leicht die Stärke einer hin- und herlaufenden Welle sehr schnell nehmen muss, wenn die erzeugende Ursache nicht in der Thätigkeit bleibt.

500. Stehende Längenschwingungen. W. elastischer Stab $ab = l$ (Fig. 238), im Vergleich zur äusseren Einwirkung so kurz ist, dass die erste Halbdehnungswelle (welche einem von b gegen a eintreffenden Wellenzuge zugehören mag) bereits den festen Endpunkt a und ihre Zurückwerfung begonnen hat, da die zweite Halbfreien Anfangspunkt b erfasst, so ist (499) nach der zurückgeworfene Vordertheil mit dem bis an den Punkt

Fig. 238.



schriftlichen Hintertheil vorzuschieben und zusammengefallen. Alle Theile sind gleichzeitig zur Ruhe gekommen, alle befinden sich in einem gleichmässigen a wachsenden Spannungsstande (Fig. 238 β), in demselben Augenblicke, da die der zurückgeworfenen Dehnungswelle folgende Verdichtungswelle ihren Einfluss auf den Punkt b zu beginnen. Die alsbald an allen Theilen des Stabes gleichzeitig beginnende Bewegung würde, wenn der Stab länger wäre, am Ende des Zeitraumes $2t$, bis zur Verdichtungswelle an c , ($cb = ba$ Fig. 238 γ) angekommen und die zurückgeworfene

Dehnungswelle dadurch vollständig hergestellt sein. Unter dieser Voraussetzung ist aber auch die Verdichtungswelle, mit welcher sich der vom freien Ende b als Verdichtungswelle zurückge-

ertheil der Dehnungswelle vereinigt hat und dadurch ausser Acht kommen kann, bis nach a vorgerückt. Beide Wellen fallen in einander; die Theilchen treten in ihren natürlichen Spannungszustand zurück, während ihre Schwingungsgeschwindigkeiten sich verdoppelt haben.

Nach Ablauf des Zeitraumes $3t$, (δ) ist die zurückgeworfene Dehnungswelle ganz aus dem Umfange des Stabs herausgegangen, der Vordertheil der Verdichtungswelle, bei a reflectirt, ist einem Hintertheil zusammengefallen. Die Theilchen befinden sich in Ruhe und im Zustande der Verdichtung.

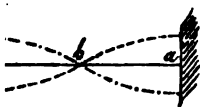
Nach Ablauf des Zeitraums $4t$, ist eine neu eintretende Dehnungswelle bis zum Punkte a , (ε) vorgerückt und mit der von m Punkte zurückgeworfenen Verdichtungswelle zusammengefallen. Abermals befinden sich die Theilchen gleichzeitig in dem natürlichen Spannungszustande; ihre Bewegung mit verdoppelter Geschwindigkeit ist aber jetzt von a gegen b gerichtet. Nach, nachdem ein fünfter Zeitraum t verflossen, hat auch die Verdichtungswelle den Stab ganz verlassen. Die zweite Dehnungswelle ist zur Hälfte reflectirt, die Theile befinden sich sämtlich im ausgedehnten Zustande und in Ruhe wie bei (β). — Es ist leicht zu sehen, dass wenn der Zug eindringender Wellen eine ihre Wirksamkeit ersetzende periodische Einwirkung derselben Weise fortdauert, dasselbe Spiel sich wiederholen wird. Die Schwingungen sind stehend, und allemal in Zeiträumen von Zeit $4t$, in welcher die Welle um eine ganze Wellenlänge reflectirt, wiederholen sich gleiche Zustände. Die Zeit einer Hin- und Herbewegung des oscillirenden Stabs ist daher:

$$4t = T = 4l \sqrt{\frac{s}{gE}}; \quad (497)$$

Diese Betrachtung gilt natürlich für jedes elastische Mittel, welches in Stab- oder Säulenform, stehende Längenschwingungen vollbringt.

Ist eine elastische Säule an beiden Endpunkten fest, so können gleichwohl stehende Schwingungen in derselben erzeugt werden, indem der z. B. in der Mitte einwirkende Druck, nach dem Ende c als Verdichtungswelle, nach dem andern a als Dehnungswelle fortschreitet. Die in dem vorhergehenden Falle an befestigten Endpunkte nach einander eintretenden Wirkungen, sind sich nun gleichzeitig an den Punkten a und c (Fig. 239);

Fig. 239.



während der Mittelpunkt b für beide Hälften der Säule gleichsam als freies Ende zu betrachten ist, indem er sich abwechselnd gegen a und wieder gegen c bewegt, und die grösste Geschwindigkeit

der Bewegung annimmt, ohne dabei eine Aenderung in der natürlichen Dichtigkeit zu erfahren; weil er von beiden Seiten immer durch gleichgerichtete und an Grösse gleich Kräfte getrieben wird.

Eine elastische Säule, welche genöthigt ist, stehende Schwingungen zu vollenden, kann auch Knotenpunkte erhalten, solche Stellen, die, gleich den Befestigungspunkten, keinen Antheil an der Bewegung nehmen, aber abwechselnd Zunahme und Abnahme der Dichtigkeit erleiden, während zwischen je zweien dieser Stellen liegenden Stücke gleichzeitig schwingen und in der Mitte einen Punkt grösster Schwingungsgeschwindigkeit bei unveränderlicher Dichtigkeit schliessen.

Gestützt auf die vorhergehenden Erläuterungen, lasse die Stellen, an welchen möglicherweise Schwingungsknoten stehen können, sogar voraussehen. So wird man bei einem Nachdenken finden, dass eine an beiden Enden durch feste Stände begränzte elastische Säule, durch die Schwingungen immer in eine Anzahl gleich langer Stücke getheilt werden und dass sie folglich nur an solchen Stellen Knoten erhalten deren Abstand von dem nächsten festen oder Knotenpunkte eine ganze Anzahl Mal in die Länge der Säule eintragen. Man wird eben so leicht finden, dass eine elastische Säule an einem oder an beiden Enden frei ist, einen Knotenpunkt in einer Entfernung vom freien Ende erhalten kann, die nur halb so gross ist, als die Entfernung dieses Knotenpunktes von dem anderen Ende, insofern ein zweiter noch vorhanden ist. Z. B. der elastische Stab $h g$ kann einen einzigen Knoten im Punkte b , oder auch zwei Knoten an den Stellen a und e aber zugleich einen dritten in l nehmen.

Fig. 240.



501. Längenschwingungen in gespannten fadenförmigen Körpern. — In gespannten Fäden und Saiten neben den Querschwingungen auch Längenschwingungen erzeugt werden, welche mit Beziehung auf die durch künstlich entwickelte Elasticität dieselben Gesetze befolgen die Längenschwingungen, in elastischen Säulen, in Beziehung auf deren natürliche elastische Kraft. Es sei P die Spannung der Saite; α die dem spannenden Gewichte proportionale Dehnung für die Längeneinheit. Einem beliebigen Zuge δP entspricht also die Dehnung $\delta \alpha$, denn innerhalb der Elasticitätsgrenze bleibt bei gespannten Saiten, welches auch die Spannung sein möge, die durch einen Zuwachs an Kraft bewirkte Dehnung diesem Zuwachse selbst proportional. Der Aus

entspricht ganz dem Elasticitätscoefficienten elastischer
und es ergibt sich nun als einfache Folgerung, dass die
Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Längswellen in gespannten
Fäden sein werde:

$$V = \sqrt{g \frac{P}{f \alpha s}}$$

wo d das Gewicht der Längeneinheit des Fadens mit d be-
deutet wird:

$$V = \sqrt{g \frac{P}{d \alpha}}$$

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer transversalen Welle
in einem gespannten Faden und bei gleicher Spannung ist (No. 491),

$$v = \sqrt{g \frac{P}{f s}}$$

Es ist sich also $V : v = 1 : \sqrt{\alpha}$.

In allen Fällen nur ein sehr kleiner Bruchtheil der Ein-
wirkung erkennt hieraus, dass sich die Längswellen mit un-
endlich grösserer Schnelligkeit fortpflanzen, als die Querwellen,
da sie sich folglich von den letzteren sogleich absondern
wenn beide gleichzeitig an derselben Stelle erzeugt

Luftwellen.

Die Lufttheile äussern gegeneinander eine abstossende
Kraft, vermöge dessen sie sich in gleichen Abständen
einander zu erhalten und dieselben nach jeder Störung des
Ruhes wieder herzustellen suchen. Die Bewegung je-
des einzelnen Lufttheilchens, indem sie den Abstand zu den um-
gebenden Theilchen ändert, muss folglich auch auf diese und so-
mit die ganze Luftmasse einen bewegenden Einfluss ausüben.
Die schreitende Bewegung in der Luft, durch welche Ursache
entsteht, lässt worden sein und in welcher Richtung sie statt
findet, gleicht immer den Längenschwingungen in elasti-
schen Körpern, weil vermöge der grossen Ausdehnbarkeit (Com-
pressibilität - Elasticität) der Luft nicht die geringste Verschiebung
des Theilchens stattfinden kann, ohne eine verhältnissmässige Ver-
dichtung nach der einen Seite und Verdünnung nach der andern
zu ziehen.

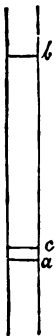
Wir setzen wir zunächst eine in einem langen und glatten cylindri-

sehen Röhre, das dehnende Gewicht für die Einheit des Querschnitts, dividirt
mit dem Dehnungsquotienten.

schen Rohr eingeschlossene Luftsäule. Ein Kolben in dieses Rohr luftdicht eingepasst, werde um eine kleine Strecke vorwärts oder rückwärts geschoben.

In dem einen wie in dem andern Falle beginnt er aus der Ruhe mit beschleunigter Bewegung fortzurücken, erreicht eine grösste Geschwindigkeit und kehrt dann durch allmähliche Abnehmungen wieder zur Ruhe zurück. Während des ersten Theils dieser Bewegung wird die den Kolben zunächst berührende Luftschicht fortwährend verdichtet oder verdünnt. Dieser Eindruck theilt sich den folgenden Schichten im Innern des Rohrs mit und hat sich, im Augenblicke, da der Kolben die grösste Geschwindigkeit besitzt, auf eine Strecke l fortgepflanzt. Es ist einleuchtend, dass der Zeitpunkt der grössten Kolbengeschwindigkeit mit demjenigen zusammenfällt, in welchem die zuerst in Bewegung gesetzte Luftschicht die grösste Geschwindigkeit mit dem stärksten Grade der Verdichtung oder der Verdünnung angenommen hat. Während die Bewegung des Kolbens allmählig abnimmt und zur Ruhe zurückkehrt, vermindert sich auch die Geschwindigkeit dieser Luftschicht bis sie endlich mit dem früheren Ruhezustand der demselben entsprechende Dichtigkeit wieder erhält.

Angenommen, die Erschütterung der Luft im Innern des Rohrs erstrecke sich auf eine Säule von der Länge $l = ab$ (Fig. 241). Die Kolbenfläche a sei mit fortwährender Beschleunigung eben bis c vorgerückt, und während hier die stärkste Verdichtung bereits stattgefunden habe, beginne der erste Eindruck der Bewegung bei b eben erst fühlbar zu werden. Der Weg ac ist, was auch sonst die Natur der Bewegung sein mag, nur halb so gross, als er sein müsste, wenn alle Schichten der Säulenlänge l die Dichtigkeit der zuerst gestossenen Schicht angenommen hätten. (Zu vergl. No. 497.) Es sei $2ac = \delta l$, so ist, wenn b den Barometerstand, x die Zunahme der Luftspannung bei der stärksten eintretenden Verdichtung vorstellt: $b + x : b = l : l - \delta l$.



$$\text{Daher } b + x = \frac{b l}{l - \delta l} \quad \text{und } x = \frac{b \delta l}{l - \delta l}$$

In ähnlicher Weise findet man für den Fall einer Ausdehnung der Luftsäule um den Weg $ac = \frac{\delta l}{2}$ die Abnahme der Spannung $x = \frac{b \delta l}{l + \delta l}$.

Ist δ ein sehr kleiner Bruch, so kann man denselben gegen die Einheit vernachlässigen, und es wird $x = \delta b$. D. h. sowohl für die Verdichtung wie für die Verdünnung ist die bewegende

l (δb) dem von der untersten Schicht der Säule l zurückge-
 n Wege $\left(\frac{\delta l}{2}\right)$ proportional; ganz so wie bei festen und
 bar - flüssigen elastischen Säulen, vorausgesetzt nur, dass
 in sehr kleiner Bruchtheil von l sei. Die für feste und tropf-
 flüssige Körper entwickelten Fortpflanzungsgesetze der Be-
 wegung müssen also hier, innerhalb der angedeuteten Grenzen,
 he Geltung haben.

Es findet daher ähnlich wie dort (No. 497) ein gleichförmiges
 schreiten der Bewegung statt, oder die Fortpflanzungsge-
 windigkeit der Bewegung ist:

$$V = \frac{l}{t};$$

er die mittlere Beschleunigung der Schichten:

$$G = g \frac{\delta b}{l s};$$

örösste Geschwindigkeit einer Schicht:

$$Gt = g \frac{\delta b}{l s} t = \sqrt{2g \frac{\delta b}{l s} \frac{\delta l}{2}}$$

folglich die Zeit, während welcher die Bewegung um die We-
 nge l fortrückt:

$$t = l \sqrt{\frac{s}{g b}}$$

Endlich die Fortpflanzungs - Geschwindigkeit dieser Bewe-
 ;:

$$V = \frac{l}{t} = \sqrt{\frac{g b}{s}}.$$

Hat man b als Quecksilbersäule gemessen, so ist s die Dich-
 it der Luft unter dem Drucke b und bei der herrschenden
 eratur, bezogen auf die Dichtigkeit des Quecksilbers = 1;
 er $\frac{b}{s} = H$ eine Luftsäule von überall gleicher Dichtigkeit
 der Höhe H ; mit einem Worte: die Geschwindigkeits-
 e der Luft beim Einflusse derselben in den leeren Raum. H
 ir Gase dieselbe Bedeutung, welche der Ausdruck $\frac{E}{s}$ für
 und tropfbar-flüssige Körper hat.

503. Die Ausdrücke b und s , nämlich Luftdruck und Luft-
 e, stehen in einer solchen Beziehung zu einander, dass bei
 ränderlicher Temperatur, jede Aenderung des einen, gleich-

mässig auch den andern trifft. Der Quotient $\frac{b}{s} = H$ ist für ein und dasselbe Gas ein unveränderlicher Werth. D. Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Bewegung in einer Lu ist unabhängig von den Aenderungen ihrer Spannkraft untigkeit. Sie bleibt gleich, in der Meereshöhe und zwisch Gipfeln der höchsten Berge. Aber auch die aufwärtsgehen niedersteigende Bewegungsgeschwindigkeit ist unabhän der nach oben abnehmenden Dichtigkeit der Luft. Denn m sich die Luftmasse zwischen zweien ungleich hoch lie Punkten, aus einer Anzahl Schichten bestehend denken jede durch ihre ganze Masse einerlei Dichtigkeit besitzt; d pflanzung muss dann durch jede einzelne dieser Sc nach dem Vorhergehenden mit gleicher Geschwindigke finden.

Dagegen können Temperatur und Feuchtigkeitszustat bedeutenden Einfluss auf die Grösse von H erhalten, weil Dichtigkeit und Spannkraft der Luft nicht nach gleichem verändern. Eben daher hat V in jedem andern Gase ein schiedenen Werth, der, wie leicht einzusehen, bei gleichem b , der Quadratwurzel aus der Dichtigkeit umgekehrt tionirt ist.

Ist b als Quecksilbersäule bei o' ausgedrückt, so fin für trockne Luft: $H''' = \frac{10167 (273 + t)}{273} \cdot 336,9$; (2)

504. Bei der Berechnung der Formel

$$V = \sqrt{\frac{g b}{s}}$$

ist die Luft als ein elastisches Mittel von beständiger Tem vorausgesetzt worden. Nun erwärmt sich aber die Luft Verdichtung; durch plötzliche Ausdehnung kühlt sie sich a in beiden Fällen muss der Unterschied der elastischen W zwischen benachbarten Luftschichten, von welchen die ein ker verdichtet oder verdünnt worden ist als die andere, men. Von diesem Unterschiede hängt aber die Geschwind ab. Dieselbe muss folglich grösser sein, als die oben bere

In der That findet man $V = \sqrt{1,421 \frac{g b}{s}}$.

Ein beliebiges Luftvolum U bei 0° und $336,9'''$ Druck genom bekanntlich für $\frac{1}{273}$ Verdichtung oder Ausdehnung um $0,421^\circ$ über wärmt oder darunter abgekühlt (No. 203).

Gesetzt, die wirklich eingetretene sehr kleine Volumänderung u in 273stel von U ausgedrückt, $\left(\text{da } U : u = 273 : 273 \frac{u}{U} \right)$, 21

Die entsprechende Temperatur-Änderung:

$$t = 273 \cdot \frac{u}{U} \cdot 0,421.$$

Das Luftvolum U , das durch Verdichtung der Ausdehnung, bei ungeänderter Temperatur die Spannkraft $b \pm \delta b$ annehmen würde, gelangt veränderter Temperatur-Änderung t zu der Spannkraft $B = \frac{273 \pm t}{273} (b \pm \delta b)$ oder indem für t der vorher gefundene Werth gesetzt wird:

$$B = \left(1 \pm 0,421 \frac{u}{U} \right) b (1 \pm \delta)$$

Denkt man sich nun wieder wie früher (No. 497) l in n Schichten zerlegt, von welchen die erste, die Volums-Änderung $\frac{\delta l}{n}$ erfährt, während

die Bewegung um die Länge l fortschreitet, so ist für diesen Fall $U = \frac{l}{n}$

und $\frac{\delta l}{n} = \frac{\delta l}{n}$, folglich $\frac{u}{U} = \delta$; und $B = (1 \pm 0,421 \delta) (1 \pm \delta) b = 0,421 \delta b \pm \delta b + 0,421 \delta^2 b$. Man hat dann, für Werthe von δ , welche sehr klein sind, den letzten Theilsatz zu vernachlässigen, die bewegende Kraft: $B - b = \pm \delta b (1 + 0,421) = \pm 1,421 \delta b$; (No. 502)

$$\text{folglich } t = l \sqrt{\frac{1,421 g b}{s}} \quad \text{und } V = \sqrt{1,421 \frac{g b}{s}}$$

505. Das ganze Stück einer Luftsäule, dessen Theile unter dem Einflusse einer Erschütterung gleichzeitig in Bewegung sind, heißt eine Luftwelle genannt. Ihre Länge ist gleich dem Wege um welchen sich die Bewegung fortgepflanzt hat, während die erzeugende Ursache, z. B. der Kolben in dem vorher gewählten Beispiele einen Hin- und Hergang vollendete. Die ganze Luftwelle besteht hiernach aus einem verdichteten und einem verdünnten Theile, welche durch eine momentan ruhende Luftschicht von gleicher Dichte von einander getrennt sind. Die Zeit in der die Wellenbewegung um eine ganze Wellenlänge fortschreitet, heißt die Periode:

$$T = 4t = 4l \sqrt{\frac{s}{1,421 g b}}$$

Man kann die frühere Bezeichnungswaise, wobei l den vierten Theil der Wellenlänge ausdrückt, beibehalten will.

Die Länge der Welle ändert sich mit der Zeit T , in welcher die erzeugende Ursache eine Hin- und Herschwingung vollendet.

506. Verdichtung oder Verdünnung an irgend einem beliebigen Punkte des Luftraums hervorgebracht, strebt nach dem allgemeinen Gesetze des Gleichgewichtes elastisch-flüssiger Körper nach jeder Richtung auszubreiten. Wenn daher auch die in der Luft durch eine Erschütterung erregte Luftbewegung, sich im Sinne

des ersten Eindrucks, wenigstens anfangs am stärksten pflanzt, so muss doch, da die Bewegung der Luft nicht ohne derung ihrer Dichte vor sich gehen kann, zugleich auch Seiten - Mittheilung statt finden. Da aber ferner die Schnell dieser Mittheilung nicht von der Stärke des Eindrucks, so (wie vorher bewiesen wurde) nur von der Beschaffenheit des Mittels abhängig ist, so folgt, dass die Wellenbewegung in Luftmasse von gleichförmiger Temperatur vom Mittelpunkt der Erregung aus nach allen Richtungen nicht nur mit gleicher Geschwindigkeit fortrückt, sondern auch dass alle in der Nähe der Quelle etwa vorhandenen Unterschiede der Intensität, wie des Fortschreitens der Welle allmählig verschwinden.

Mehrere, z. B. durch Schwingungen eines elastischen Körpers erzeugte, auf einander folgende Luftwellen bilden als die Erregungsstelle gleichsam concentrische Kugelschalen, deren Dicke gleich ist und je einer Wellenlänge gleichkommt.

Wegen des Bestrebens der Lufttheile, ihren Spannungszustand ringsum auszubreiten, kann man jeden Punkt der fortschreitenden Welle gleichsam selbst wieder als Erzeugungsstelle einer Welle (Elementarwelle) betrachten, deren Länge derer der Hauptwelle nothwendig gleich ist. Die von der Hauptwelle abweichenden Wirkungen dieser Elementarwellen heben sich mehr und mehr wechselseitig auf, jemehr die in denselben Phasen schwingenden Theilchen einerlei Spannungszustand annehmen.

Der Umfang der kugelförmigen Wellenoberfläche wächst dem Fortschreiten der Welle. Da nun die Summe der in der Welle vorhandenen lebendigen Kräfte, d. i. das Product der Masse der schwingenden Theilchen in das Quadrat ihrer Geschwindigkeit unverändert bleiben muss, so begreift es sich, dass die Intensität der Bewegung, welche für gleiche schwingende Masse dem Quadrat der Geschwindigkeit, oder was dasselbe sagt: dem Quadrate der Schwingungsweite proportional ist, umgekehrt wie dem Quadrat der Entfernung von der Erschütterungsstelle abnehmen muss. Die Schwingungsweite selbst vermindert sich im einfachen umgekehrten Verhältnisse des Abstandes.

507. Uebertritt der Wellen aus einem Mittel in ein anderes. — Wenn eine Welle an der Gränzfläche zweier Medien ankommt, so theilt sie sich (No. 499) nach Gesetzen, die aus den Eigenschaften des elastischen Stosses als nothwendige Folgen hervorgehen. Ein Theil der Bewegung wird auf das andere Mittel übertragen und erzeugt darin Schwingungen von gleicher Periode als die ursprünglichen. Ein anderer Theil wird zurückgeworfen. Die Intensität der Wellen ist um so beträchtlicher, je grösser die Verschiedenheit der Elasticität und Dichtigkeit beider Mittel.

so viel von der Bewegung fortschreitet und wie viel zurückgeworfen ist sich, wenn die Elasticität und Dichtigkeit beider Mittel bekannt ist, durch Rechnung bestimmen; da nach den Gesetzen des Stosses, nicht die lebendige Kraft, sondern auch die Grösse der Bewegung, vor und nach dem Uebergange der Welle in das andere Mittel, gleich sein müssen. In diesen Bedingungen ergeben sich zwei Gleichungen von der Form:

$$v^2 m = v'^2 m' + v''^2 m \text{ und } v m = v' m' + v'' m,$$

aus denen dienen können, um die Unbekannten v' und v'' abzuleiten.

1) δ ist die grösste Geschwindigkeit eines schwingenden elastischen Körpers, wenn δl die Schwingungswerte bezeichnet.

2.) Es ist ferner die Länge einer Welle:

$$l = t \sqrt{g \frac{E}{s}}$$

3.) gleiche Schwingungszeiten (t) in verschiedenen Mitteln mit ihren verschiedenen Geschwindigkeiten schwingenden Massen verhalten sich wie die Wellenlängen in die Dichtigkeiten der Stoffe; daher wie

$$s \sqrt{\frac{E}{s}} : s' \sqrt{\frac{E'}{s'}}$$

4.) Wenn diese Werthe in die obigen Gleichungen gesetzt, erhält man:

$$\frac{E}{s} = \delta'^2 E' \sqrt{\frac{E'}{s'}} + \delta''^2 E \sqrt{\frac{E}{s}} \text{ und}$$

$$\delta E = \frac{\delta' E'}{2\delta E} + \frac{\delta'' E}{2\delta E} \text{ woraus sich ergibt:}$$

$$\frac{E'}{E} \left(1 + \sqrt{\frac{E s}{E' s'}} \right) \text{ und } \delta'' = \delta - \frac{2\delta}{1 + \sqrt{\frac{E s}{E' s'}}$$

5.) δ'' geben das Verhältniss der Schwingungswerte des fortgeschrittenen und des zurückgeworfenen Wellentheils zur Schwingungswerte der ursprünglichen Welle. Dieselben Werthe zum Quadrat erhoben und mit den schwingenden Massen multiplicirt, zeigen das Verhältniss der Schwingungsintensitäten beider Wellentheile zu derjenigen der ursprünglichen Welle, welche durch

$$\delta^2 E \sqrt{\frac{E}{s}} = J$$

6.) folgt ist.

7.) findet

$$\delta' v = \delta l \frac{2 \sqrt{E s}}{\sqrt{E' s'} + \sqrt{E s}},$$

$$\delta'' l = \delta l \frac{\sqrt{E s} - \sqrt{E' s'}}{\sqrt{E s} + \sqrt{E' s'}}$$

8.) Intensität der fortschreitenden Welle ist:

$$\frac{4 \sqrt{E s} \times \sqrt{E' s'}}{(\sqrt{E s} + \sqrt{E' s'})^2} J = J'$$

9.) Intensität der zurückgeworfenen entspricht dem Unterschiede:

$$J - J' = J \frac{(\sqrt{E s} - \sqrt{E' s'})^2}{(\sqrt{E s} + \sqrt{E' s'})^2}$$

Man erkennt nun leicht, dass eine Welle aus einem Mittel in das nur dann ungestört übergeht, wenn

$$E's' = Es. \text{ Es ist dann } \delta'v' = \delta l \text{ und } J' = J.$$

In allen andern Fällen findet eine theilweise Zurückwerfung statt. Intensität der zurückgeworfenen Welle ist um so grösser, je grösser die Verschiedenheit zwischen Es und $E's'$, gleichgültig übrigens ob Es oder E grössere Zahl sei.

So wird die Luftwelle von einer harten Wand, aber auch um die durch ein Mittel von grosser elastischer Kraft fortschreitende an der Gränze desselben gegen Luft, grösstentheils zurückgeworfen. vollständige Reflexion ereignet sich an der Gränze des leeren Raumes nämlich $E's' = 0$ wird.

Je nachdem Es oder $E's'$ die grössere Zahl, wird $\delta'v'$ positiv oder negativ. D. h. die durch Reflexion bewegten Theilchen schwingen in die Richtung wie früher, oder in entgegengesetzter Richtung. Im ersten also wenn $Es > E's'$, wird die anstossende Verdichtungswelle abdünnungswelle reflectirt, und umgekehrt. Im andern Falle kehrt die nach dem Anstosse in die frühere Ordnung zurück.

So wird die in einem elastischen Stabe oder in einer elastischen fortschreitende Welle, wenn ihr verdichteter Theil voran ist, vom Irgendwelchen Punkte in derselben Ordnung, vom freien Ende hingegen in umgekehrter Ordnung (d. i. den verdünnten Theil voran) zurückgeworfen (No. 36). Aus demselben Grunde muss die an einer festen Wand anstossende Welle, nach dem Stosse in der früheren Ordnung zurückkehren. aber eine in kalter Luft fortschreitende Welle an einer warmen oder umgekehrt und dadurch bei gleichem Barometerstande dünneren Luftschicht so findet eine Zurückwerfung in umgekehrter Ordnung statt.

XI. Erzeugung und Fortpflanzung des Schalls

508. Schwingende Körper aller Art erzeugen, wenn sie periodische Hin- und Herbewegung in der Luft vor sich bringen, Luftwellen, welche, wenn sie sich bis zu unserem Gehöre fortpflanzen, dasselbe nöthigen, Schwingungen von gleicher Periode zu machen (No. 36). Diese Schwingungen innerhalb gewisser Gränzen der Dauer werden bei hinreichender Stärke als Schall empfunden.

So empfindet das Ohr durch Vermittlung von Luftwellen die Schwingungen einer gespannten Saite, eines elastischen Stabes oder einer angeschlagenen Glocke u. s. w.

Man überzeugt sich zunächst leicht, dass ohne einen bestimmten Vorgang kein Schall vernommen wird. Durch leise Bewegung der angeschlagenen Saite oder der angeschlagenen Glocke fühlt man die Vibrationen derselben, während man den Schall nicht hört. Dieser erlischt aber sogleich, wenn durch stärkeren Druck die Glocke ihre Schwingungen unterbrochen werden.

Im fernern zu beweisen, dass der Schall durch Vermittlung oft vernommen oder zum Ohre geleitet wird, hänge man eine Glocke, die durch ein Uhrwerk fortdauernd angeschlagen wird, an einer dicker gedrehten und dadurch sehr wenig elastischen Fäden dem Recipienten der Luftpumpe auf. Während des Auspumpens vermindert sich der Schall und hört, nachdem der grösste Theil der Luft aus dem inneren Raume entfernt worden, endlich auf. Er wird aber sogleich wieder hörbar, wenn Luft oder anderer gas- oder dampfförmiger Körper zugelassen wird. Die schallende Glocke unmittelbar auf dem Teller der Luftpumpe, so kann der Schall durch Entfernung der inneren Luft zerstört werden; weil die Schwingungen der Glocke sich ungehindert auf ihre feste Unterlage übertragen können und durch diese wieder zur äusseren Luft und so fort bis zum Fortpflanzen.

Luft und andere Gase leiten den Schall um so besser, je dichter sie sind. So hört man das Tönen der Glocke unter einem mit Kohlendioxid gefüllten Recipienten viel deutlicher, als derselbe Wasserstoff von gleicher Spannkraft enthält. Eben so ist in den höheren Luftschichten, auf der Spitze sehr hoher Berge, der Schall weniger intensiv als in den unteren Schichten der Atmosphäre.

§9. Die Luftwellen bilden das gewöhnliche Hülfsmittel übertragende Bewegungen auf das Gehörorgan zu übertragen. Auch jeder andere Körper ist fähig, als Schallmittel zu dienen, sofern er nur elastisch genug ist, um die Schwingungen abzugeben und durch seine Masse fortzuführen zu können. Feste und flüssige Körper, wegen ihrer grösseren Dichtigkeit, leiten so in der Regel besser als die Luft.

Man lege eine lange Stange an einem Ende mässig gerieben, während man am andern Ende in der Nähe des Ohrs gegen den Kopf lehnt, so hört man das Geräusch des Reibens durch die Stange besser als durch die Luft, dann, wenn die Oeffnungen beider Ohren verstopft sind, also der Zutritt des Schalls durch Luftwellen gar nicht mehr möglich ist. — Erschütterungen des Bodens, z. B. durch die Bewegung eines Reitergeschwaders, durch das Abfeuern der Geschütze, durch vulkanische Ausbrüche bewirkt, werden bekanntlich durch die feste Masse der Erde auf weit grössere Entfernungen als durch die Luft fortgeleitet. Das Getöse des Vulkans Cosiguina in Paragua, während seines Ausbruchs am 20. Januar 1835 wurde in Jaén, Carthagena, Santa Marta in Neu-Granada und Santa Fe de Bogota, im Umkreise von 200 deutschen Meilen vernommen. — Das Anschlagen einer Glocke unter Wasser hörten Colladon und Sturm durch die Breite des Genfer Sees.

§10. Die Eindrücke auf unser Gehörorgan, um vom Bewusstsein als Schall empfunden zu werden, müssen sich wiederholen. Jede einzige Schwingung, ein einziger Pendelschlag, obschon die Luftwelle fortsetzt, ist unfähig einen Schall zu erzeugen.

Wenn das Ohr von einer Folge gleichgeordneter und langer Wellen (Schallwellen) getroffen wird, so empfindet die Regelmässigkeit in der Periode dieser Eindrücke als Ton. Man hört den Ton einer gespannten, schwingenden Saite, ihre gleichdauernden Hin- und Herbewegungen einen zusammenhängenden Zug von Luftwellen erzeugen müssen, die durch den sie bis zum Ohre vordringen, in gleicher Folge eine entsprechende Anzahl Stösse auf dasselbe ausüben. In dieser Weise vollendet jeder tönende Körper eine Reihe von Schwingungen, deren Intensität hinlänglich gross ist, um Eindrücke bis auf das Organ des Gehörs fortpflanzen zu können. Aber auch ohne die Gegenwart eines tönenden, d. h. schwingenden Körpers, kann ein Ton gehört werden, wenn die Luft durch irgend andere Art, schnell auf einander und in gleichen Zeitabständen erfolgende Stösse erhält, so dass eine Reihe gleich langer Wellen entstehen muss.

511. Das Ohr erkennt bei den Tönen dreierlei verschiedene Eigenschaften: ihre Höhe oder Tiefe, ihre Stärke und Klang.

Die Höhe oder Tiefe hängt ab von der Schwingungsdauer des tönenden Körpers. Der Ton erscheint um so höher, je kürzer die Dauer der Schwingungen, je mehr Schwingungen in einer Sekunde vollendet werden, eine je grössere Folge von Wellen in derselben Zeit das Gehörorgan treffen.

Die Stärke des Tons wird bedingt durch die Stärke der einzelnen Stösse; welche ihrerseits wieder von dem Abstände des schallenden Körpers, von der Anzahl materieller Theile, welchen seinen isochronen Vibrationen Theil nehmen, so wie endlich von der Weite dieser Schwingungen abhängig sind. Die Wellen der Schallschwingungen, ihre Schwingungsgeschwindigkeit haben den geringsten Einfluss auf die Höhe der Töne.

Die Töne lassen noch eine dritte Verschiedenheit, den Klang (timbre) erkennen. Sehr leicht unterscheidet man z. B. den Klang des Silbers vor dem des Goldes oder Blei's. Das Klavier, die Gitarre klingen verschieden, auch bei solchen Tönen, welchen das geübteste Ohr keine Verschiedenheit in dem Klang bemerkt.

Das Abweichende dieser Töne liegt nicht in der Anzahl Schwingungen, welche in gleichen Zeitabschnitten erfolgen, sondern in der Art, nach welcher die Schwingungen vor sich gehen, sich auf die Luft übertragen und diese dem Gehörorgan mittheilen. Es ist einzusehen, dass diese Art der Bewegung, das Gesetz des Uebergangs aus der Ruhe zur grössten Geschwindigkeit wieder zurück zur Ruhe, je nach der Beschaffenheit des schallenden Körpers sehr verschieden, bei gleicher Schwingungsdauer dennoch aber sehr abweichender Krümmung ausgedrückt sein kann. Mit Wahrscheinlichkeit darf man übrigens voraussetzen, dass ein Ton dem Ohr wohlgefälliger und reiner klingt, je regelmässiger der Lauf sein

urch welche das Schwingungsgesetz des tönenden Körpers dem Auge nicht wird.

ie Ausdrücke: Schnarren, Rasseln, Schnurren, Sumsen u. a. m. bezeichnen Töne von unreinem Klang.

Schalleindrücke, die durch Wellenzüge von ungleichartiger Saftigkeit hervorgebracht sind und so rasch aufeinander folgen, dass sie das Ohr nicht getrennt unterscheiden kann, werden als Ton, sondern als Geräusche, oder wenn die Eindrücke heftig sind, als Getöse empfunden.

Ein Knall entsteht, wenn die erzeugende Ursache bei zwar grosser Heftigkeit nur eine kurze Zeit in Wirksamkeit bleibt, so nur wenige Schwingungen gebildet und fortgepflanzt werden. Der Schall, bewirkt durch einen einzelnen Stoss oder Schlag, dauert so kürzer, je inniger der erschütterte Körper mit grösseren Massen zusammenhängt, je rascher daher die ihm eingegebene Bewegung, durch Uebergang auf andere Materie ihre Intensität verliert. Daher muss eine Glocke oder eine Metallplatte, wenn sie durch Anschlag tönen soll, möglichst frei schweben. Daraus im Allgemeinen die äussere Einwirkung, welche die erzeugende Bewegung eines tönenden Körpers hervorbringt, wiederholen, wenn der Ton dauernd erhalten werden soll.

13. Man hat verschiedene Hilfsmittel, die Anzahl der Schwingungen zu zählen, welche einem Tone von bestimmter Höhe angehören. Savart (g. Ann. 20. S. 290) benutzte hierzu eine nach Art der Kreissäge gearbeitete Scheibe von Messing die auf horizontaler Axe befestigt, mittelst Seile eine sehr grosse Umdrehungsgeschwindigkeit erhalten konnte. Ein kleiner Körper, z. B. ein Kartenblatt, gegen den Umfang dieses Rades gedrückt, wird während der Umdrehung von einem Zahne nach dem andern hin- und hergehoben und wieder sich selbst überlassen, so dass es eine regelrechte Hin- und Herbewegung annehmen, und für jede Umdrehung so viele Schwingungen machen muss, als das Rad Zähne hat. Jeder Doppelschwingung entspricht dann eine ganze, d. h. aus einem verdichteten und verdünnten Theile gebildete Luftwelle. Man erhält mit diesem Apparate nach kurzer Uebung in der Anstellung des Versuchs, einen reinen und hellen Ton, der sich erhöht und senkt, je nachdem die Umdrehungsgeschwindigkeit grösser oder kleiner wird. Aus der Zahl der Umdrehungen (O. S. 297), welche bei gleichförmiger Bewegung auf eine Sekunde multiplicirt mit der Summe der Zähne des Rades ergibt sich die Anzahl der Schwingungen, welche dem gehörten Tone entsprechen. Auf diese Weise fand Savart mit einem Rade, das 82 Centim. im Durchmesser hielt und 20 Zähne auf dem Umfange trug, dass 24000 Schläge auf das Kartenblatt also 48000 einfache Schwingungen desselben während einer Sekunde hervorzubringen, einen deutlich vernehmbaren Ton hervorbringen. Savart hält dies keineswegs für die Gränze der hohen Töne. Um noch höhere Töne hervorzubringen, würde es nach ihm nur darauf ankommen, den Schwinger, von welchen sie abhängen, eine hinreichende Intensität zu geben. Dasselbe gilt für die tiefen Töne. Um tiefe Töne von starkem Umfange hervorzubringen, setzte er einen Eisenstock von 2½ Fuss Länge, 2 Zoll Breite und 2 Zoll Dicke in gleichförmige Umdrehung, und zwar um eine Axe, die durch die Mitte desselben, senkrecht gegen die Längenrichtung und Dicke gedreht, senkrecht durch die Drehungsebene des Stabs und in der Richtung der Experimentalphysik.

Richtung eines ihrer Durchmesser geht ein Brett, welches einen Ar enthält, der von dem Stabe während seines Durchgangs fast ausgefüllt. So oft er durchschlägt, was bei jeder Umdrehung zweimal geschieht, entsteht ein Knall, dessen Intensität mit der Geschwindigkeit der Umdrehung in sehr auffallender Weise zunimmt. Savart (Pogg. Ann. 22) bemerkte, dass sich die Einzelwirkungen schon bei 7 bis 8 Schlägen in einer Sekunde, entsprechend einer gleichen Anzahl ganzer Luftwellen, einem anhaltenden sehr tiefen Tone vereinigen. Derselbe war zugleich der tiefste Ton, welchen er hören konnte.

Eine andere Anordnung von Luftwellen von gleicher Periode zu erzeugen, deren Zahl leicht und bequem geändert und doch zugleich verändert werden kann, ist die von Cagniard Latour ersonnene Sirene. Dieselbe besteht im Wesentlichen aus einer Scheibe, drehbar um ihren Mittelpunkt und am Rande ringsum versehen mit Oeffnungen oder Ausschnitten gleicher Grösse, die in gleichen Abständen auf einander folgen. Gegenüber dieser Löcherreihe wird, während sich die Scheibe dreht, mittelst eines Ventils ein Luftstrom hindurch gedrückt, der abwechselnd hindurch dringend und wieder aufgehalten wird. Es ist nun einleuchtend, dass die Höhe des hierdurch entstehenden Tones von der Anzahl Luftstöße abhängt und dass diese, ähnlich wie bei der Sirene, aus der Umdrehungsgeschwindigkeit und der Zahl der Oeffnungen der Scheibe bestimmt werden kann.

Die Drehung der Scheibe kann durch den Luftstrom selbst geschehen (bei 2 bis 3 Linien Dicke der Scheibe) die Löcher selbst schneiden. Um auch bei sehr grosser Umdrehungsgeschwindigkeit die Anzahl der Luftstöße sicher auffinden zu können, hat Cagniard eine mechanische Vorrichtung zum Zählen derselben mit dem Apparate verbunden.

513. Ein zwar weniger anschauliches aber viel festeres Hilfsmittel die Schwingungszahl der Töne zu messen, die auf einer gespannten Saite. Ihre Schwingungsdauer ist durch die

$$T = 2l \sqrt{\frac{f \cdot s}{g \cdot P}}$$

ausgedrückt.

Diese Formel wurde mit Zugrundelegung der allgemeinen Elasticitätsgesetze theoretisch entwickelt (No. 491). Dieselbe wurde durch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen auf gespannten Fäden, bewährt ihre Richtigkeit. Eine neue, sichere Controlle gewinnt man durch Vergleichung mit den vorerwähnten Tonmessern.

Hat man eine Saite von überall gleichartigem Stoff und gleicher Dicke, von genau abgemessener Länge (l) und bekanntem Gewichte $g = f \cdot s \cdot l$ durch ein ebenfalls bekanntes Gewicht gespannt, so ist nach dem Ausspruche obiger Formel die Zahl der Schwingungen, die sie in einer Sekunde vollendet:

*) Ann. ch. phy. XII. 167. XVIII. 438. XXXV. 42.

Abänderungen von Seebeck sind beschrieben in Pogg. Ann. 5

$$= n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{gP}{fs}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{gP}{lQ}}.$$

nun mittelst der Sirene oder des gezahnten Rades in gebracht, welcher nach dem Urtheil des Ohres dieselbe wie der der schwingenden Saite, so findet man durch die Bestimmung der Anzahl Schallwellen dieselbe Zahl n , wie die obige Rechnung geführt hatte. So kann man sich mittelstem Wege überzeugen, dass die Schwingungsspannter Saiten sich verhält: umgekehrt wie ihre Länge, wie die Quadratwurzel aus dem spannenden Gewichte und wie die Wurzel aus der Saite, umgekehrt wie die Wurzel aus dem Gewicht der Saite. Saiten aus verschiedenen Stoffen, bei gleicher Spannung können nur dann gleich schwingen, wenn die Gewichte gleich sind.

Zur Schwingungsversuchen mit gespannten Saiten gebraucht man eine zu eingerichtete Geräthschaft, das Monochord. Ein Kasten von bestimmter Länge, aus nicht zu dickem, übrigens festem und trockenem Holz, und an den Seitenwänden oder am Boden mit einigen Oeffnungen versehen, ist mit einem dünnen Brettchen aus Tannenholz gedeckt, welches Zweck hat, als Resonanzboden zu dienen. Darüber geht eine Saite von einem Ende mittelst eines Wirbels, oder durch Einklemmen beider Enden um eine leicht bewegliche Rolle geschlungen und an beiden Enden hängte Gewichte gespannt. Der Saite entlang läuft ein Messstab, durch dessen Hilfe genau abgemessene Stücke des der gespannten Saite entgegengesetzten Unterschiebung von Stegen oder mittelst Klemmschrauben, von denen die eine feststehen kann, die andere aber beweglich sein muss, abgemessen und so dem Versuche unterworfen werden können. Gewöhnlich sind diese Stege breit genug, um mehrere, bis zu 4 Saiten neben einander spannen zu können.

Die schwingende Bewegung der angestossenen Saite theilt sich durch die Resonanzpunkte dem Resonanzboden mit, wodurch dieser genöthigt wird, in gleichem Grade zu schwingen (No. 507). Die Stärke der Schwingung wird auf diese Weise sehr bedeutend vergrößert.

Das Monochord (Tonmesser) zum Gebrauche für sehr feine Messungen ist beschrieben und abgebildet in Pogg. Ann. B. 15.

Die Schwingungsgesetze gespannter Fäden setzen eine vollkommene Elasticität des Stoffes voraus. Diese ist jedoch nur bei dünnen und langen Fäden in genügendem Grade vorhanden. Bei dicken und kurzen Saiten weicht die wirkliche Tonhöhe von der durch Rechnung bestimmten merklich ab.

Wenn man eine gespannte Saite in der Mitte lose mit dem Finger berührt, so schwingt die Saite in zwei Hälften, wie eine Hälfte vorsichtig mit dem Fiedelbogen gestrichen, so schwingt die Saite in zwei Hälften in Schwingung. Aber die Tonhöhe entspricht der doppelten Schwingungszahl der frei schwingenden Saite. Hieraus ergibt sich, dass an der berührten Stelle sich ein Knotenpunkt gebildet hat (No. 496).

Wenn man die Saite durch Berührung mit dem Finger einen beliebigen ganzen Theil, z. B. den dritten oder vierten Theil u. s. w. von der Saite abtrennt, so kommt auch in diesem Falle die ganze Saite zum Schwingen.

Die Tonhöhe entspricht aber derjenigen, welche der abgetrennte Theil für sich geben musste. Legt man in dem doppelten, dreifachen oder vierfachen Theile der Saite kleine Papierstücke auf die Saite,

so bleiben sie, während letztere zum Tönen gebracht wird, nur an denzeichneten Punkten in Ruhe, werden aber von andern Stellen, auf die sie legt, herabgeschleudert. Die Saite zerfällt also in gleiche Abschnitte welche durch Knotenpunkte getrennt sind.

514. Die Dauer der Längenschwingungen in elastischen Stäben wurde früher (No. 500) aus den Gesetzen der Elasticität entwickelt und dafür

$$T = 2l \sqrt{\frac{s}{gE}}$$

gefunden.

Die Schwingungszahl in einer Sekunde soll hiernach

$$n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{gE}{s}}$$

betragen.

Stäbe von Glas, Holz, Metall können kräftige und wohlklingende Töne geben, wenn man erstere mit nassem Wollen, die beiden letzteren mit trockenem Tuche, das mit Colophonpulver bestreut ist, der Länge nach reibt. Je nach der Art des Reibens erhält man aber aus demselben Stabe Töne von verschiedener Höhe.

Werden zwei Stäbe von gleicher Masse und gleicher Länge aber ungleicher Dicke, entweder beide frei in der Hand gehalten oder beide am einen Ende eingeklemmt, so findet man, dass der tiefste Ton, welchen sie geben können, bei beiden derselbe ist, mögen sie übrigens prismatisch oder cylindrisch, von gleicher oder ungleicher Dicke, gefüllt oder hohl sein. D. h. die Schwingungsdauer ist unabhängig von der Grösse und Form des Querschnittes, ganz so wie es das Elasticitätsgesetz verlangt.

Vergleicht man die tiefsten Töne bei gleichartigen Stäben verschiedener Länge, so ergibt sich, dass ihre Schwingungsdauern, wie bei den gespannten Saiten, im umgekehrten Verhältnis der Länge zunehmen.

Die ungleich hohen Töne, welche ein und derselbe Stab geben kann, stehen in einer festen und unveränderlichen Beziehung zu einander. Ihre Schwingungszahlen verhalten sich, vom tiefsten Tone ausgehend, wenn der Stab frei gehalten oder an beiden Enden befestigt wird, wie 1 : 2 : 3 : 4 u. s. w., oder wenn er an einem Ende festgeklemmt ist, wie 1 : 3 : 5 u. s. w., ohne dass es möglich ist, mittlere Töne hervorzubringen. Dieses Verhalten ist leicht erklärlich, wenn man sich dessen erinnert, was in No. 500 über die Knotenlinien in elastischen Stäben gesagt ist. Eben so verständlich ist es, dass die Schwingungsdauer des tiefsten Tons, wenn der Stab frei gehalten wird, doppelt so gross ist, als wenn er an einem Ende fest ist.

Die Tonhöhen gleich langer Stäbe aus verschiedenen

en verhalten sich umgekehrt wie die Wurzeln aus den Dichten der Stoffe.

Das oben erwähnte Gesetz der Längenschwingungen elastischer Massen wird also durch die Tonverhältnisse longitudinal schwingender Stäbe in Punkten bestätigt. Auch die direkte Zählung der Längenschwingungen Stäbe, welche Werthheim (Pogg. Ann. Ergänz. II. 13) mittelst eines eigenthümlichen Apparates (483) ausgeführt hat, lieferte fast genau die der Tonhöhe abgeleitete Schwingungszahl. Die aus der Tonhöhe schwingender Stäbe berechneten Elasticitätscoefficienten stimmen gleichwohl mit den durch Dehnung gefundenen nicht ganz überein. Der wahrscheinliche Fehler ist schon früher berührt worden.

515. Die Längenschwingungen prismatischer und cylindrischer Stäbe sind stets von Querschwingungen begleitet, ohne dass diese Schwingungsarten sich wechselseitig stören. Die letzteren sind vorherrschend, wenn mit dem Bogen rechtwinklig gegen die Länge gestrichen wird. Auch in diesem Falle kann man Töne verschiedener Höhe erhalten. Sie sind von Knotenlinien abhän- gige, die bei flachen Stäben, welche am einen Ende sehr fest befestigt sind (z. B. mit Hülfe eines sehr schweren Schraubens) durch Aufstreuen von leichtem Sand wahrnehmbar gemacht werden können. Der Sand sammelt sich nämlich an diesen Stellen an, als den einzigen, welche in Ruhe bleiben. Der tiefste Ton entsteht, wenn ein Stab ohne Knotenlinien schwingt. Seine Schwingungszahl ist, wie von selbst einleuchtet, unabhängig von der Breite des Stabs; sie steht aber im geraden Verhältnisse seiner Dicke, im umgekehrten zum Quadrate der Länge und im umgekehrten zur Quadratwurzel aus der Dichtigkeit des Stoffes (483). Die Schwingungen gekrümmter Stäbe; Stimmgabel.

516. Dünne elastische Platten, die an einem oder mehreren Punkten festgehalten werden und durch Streichen, winkelrecht gegen eine Kante in Transversalschwingungen gerathen, bilden Knotenlinien, die durch Streusand sichtbar gemacht, je nach der Lage der Platten, der gegenseitigen Lage der Punkte an denen sie befestigt oder mit dem Bogen gestrichen werden, so wie der Ton des erzeugten Tons mehr oder weniger zusammengesetzte Klangfiguren darbieten. Sie lassen sich am leichtesten auf Scheiben von Glas oder Metall darstellen und sind hauptsächlich von Chladni untersucht und beschrieben worden. (Geslers phys. Wörterbuch, neue Bearbeitung. 226).

Man hat von diesem Verhalten schwingender Scheiben eine sinnvolle Anwendung gemacht, um zu beweisen, dass entgegengesetzte Schallwellen durch Interferenz sich wechselseitig aufheben können.

Man wird eine viereckige Scheibe von sehr gleichmäßig dickem Messing in der Mitte festgeklemmt und in der Nähe eines Ecks so gestrichen,

dass sie ihren tiefsten Ton gibt, so nehmen die Knotenlinien die in bezeichnete Gestalt an. Es ist vollkommen einleuchtend, dass je zwei Knotenlinie getrennte Stücke wie *a* und *b* immer entgegengesetzt nur an einem Punkte zusammenstossende Stücke wie *c* und *d* gleich sein müssen.

Fig. 242.

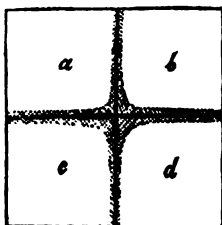
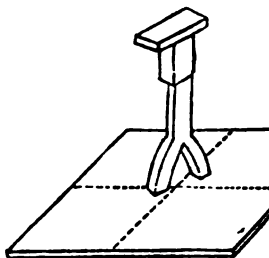


Fig. 243.



Die Fig. 243 stellt eine gabelförmige aus dünnen Brettchen zusammengesetzte Röhre vor, deren beide Schenkel offen sind und deren obere förmige Erweiterung mit Postpapier überzogen ist. Hält man nun den Oeffnungen dieser Röhre nahe über zwei in gleicher Phase sich abtheilungen der mit ihrem tiefsten Tone klingenden Scheibe *a* und *b*, so wird Sand, welchen man auf die Papierfläche gestreut hat die Stösse der in die Röhre eindringenden Schallwellen in die *B* schleudert. Hält man aber beide Schenkel über die Abtheilungen die in entgegengesetzten Phasen schwingen, so bleibt der Sand liegen.

517. Geschwindigkeit des Schalls. Der Schall in jeder Richtung gehört, in welcher die Schallwellen in Ausbreitung nicht gehindert werden. Jede gerade Linie, von der Erzeugungsstelle des Schalls ausgeht oder alleger welche auf irgend einem Punkte einer Wellenoberfläche recht steht, heisst Schallstrahl. Sie bezeichnet die Richtung nach welcher das betreffende Wellenstück fortschreitet. Die Geschwindigkeit, womit diess in einem gegebenen Mittelschieht, fällt mit derjenigen zusammen, womit der Schall fortgeleitet wird. Aus der Elasticität und Dichtigkeit eines Mittels lässt sich daher die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in demselben durch Rechnung bestimmen.

Die Geschwindigkeit des Schalls in der Luft ist durch die Formel

$$v = \sqrt{1,415 \frac{g b}{s}}$$

gegeben (504).

Nimmt man die Luft als trocken an und ihre Temperatur gleich setzt man nach den neuesten Bestimmungen von Regnault: das von 1 Litre Quecksilber = 13595,93 Grm., das Gewicht von 1 Liter bei 0° und 336,9 Linien Druck = 1,293187 Grm., so erhält $\frac{b}{s}$ den

Werth: 24596. Daher $v = \sqrt{30,1958 \cdot 24596 \cdot 1,415} = 1027,3$ Par. der 333 Metre.

der Temperatur und dem Feuchtigkeitsgehalte der Luft ändert sich das $\frac{b}{s}$ und dadurch auch die Schallgeschwindigkeit, wie der ck:

$$v = 1027,3 \sqrt{(1 + 0,00366 t) \left(1 + \frac{6p}{16b}\right)}.$$

ie Dunstspannung, b den Barometerstand, beide in einerlei Mass be-

rekte Erfahrungen über die Schallgeschwindigkeit sind da-
gewonnen worden, dass man die Anzahl Sekunden, welche
augenblicke des Lichteindrucks einer in bedeutender Entfer-
abgefeuerten Kanone, bis zu dem Augenblicke, da der Schall
t wurde, verflossen, in den geradlinigten Abstand der Ka-
von dem Standorte des Beobachters dividirte. Solche Ver-
sind schon häufig unternommen worden, (Pogg. Ann. 5.
; 14 S. 375). Sie müssen zur Nachtzeit angestellt werden,
dann die Luft gewöhnlich am ruhigsten ist. Zugleich ist es
, auf den Stand des Barometers, Thermometers und Hygro-
sorgfältige Rücksicht zu nehmen, Dem Einflusse des Win-
recht man dadurch vorzubeugen, dass die Schüsse an beiden
nen möglichst gleichzeitig abgefeuert werden. Es wird dann
siden Resultaten das Mittel genommen.

Als die zuverlässigsten direkten Beobachtungen gelten die
re 1822 von Pariser Akademikern zwischen Villejuif und
éry bei Paris (Pogg. Ann. 5 S. 477) und im Jahre
von Moll und van Beek (Pogg. Ann. 5 S. 351; 19 S. 115)
Gegend von Utrecht ausgeführten. Nach den erstern ist die
geschwindigkeit, auf trockne Luft bei 0° reducirt 331,05
; nach den letzteren 332,25 Metre. Diese Geschwindigkeit
der Schall nicht nur in Luft von jeder Dichtigkeit (No. 503),
n auch in aufwärts und abwärts gehender Richtung (Stam-
und Myrbach, Pogg. Ann. 5 S. 496; Bravais und Mar-
'ogg. Ann. 66 S. 351).

Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in der Luft hat zuerst New-
n Ausdruck

$$v = \sqrt{\frac{g b}{\rho}}$$

Da jedoch der hiernach berechnete Werth (861,8 P. F. hinter den
ssen der Erfahrung weit zurück blieb, so kam La Place auf den
en, die Ursache dieses Unterschiedes darin zu suchen, dass bei der
og auf die Temperaturveränderungen Rücksicht genommen werden
von welchen plötzliche Dichtigkeitsveränderungen bei Gasen begleitet
Die hiernach corrigirte Formel gab nun wirklich ein Resultat, wel-
t denen der Beobachtung befriedigend übereinstimmte.

long (Pogg. Ann. 16. S. 438), indem er als wahrscheinlichsten
der Schallgeschwindigkeit die Zahl 313 Metre nahm, berechnete hier-

nach das Verhältniss der spec. Wärme der Luft bei constantem Volume, zu dem bei constantem Druck, wie 1 : 1,421. Er hatte damals die Dichtigkeit der Luft zu $\frac{1}{10462}$ von der des Quecksilbers gesetzt. Nach den neuesten Bestimmungen ist aber dieser Werth $\frac{1}{10513,5}$, und hieraus folgt die oben benutzte etwas abweichende Zahl 1,415.

518. Die Geschwindigkeit des Schalls im Wasser lässt sich theoretisch aus der Formel

$$v = \sqrt{\frac{g E}{s}}$$

ableiten.

Der Elasticitätscoefficient des Wassers ist (No. 477): 218 Kilon auf einen Querschnitt von 1 Quad. Millim. Ein C. Mm. Wasser bei 0° wiegt 1 Milligr. Daher die Länge der Wassersäule $\frac{E}{s}$ in Metre ausgedrückt 218000. Hiernach ist $v = \sqrt{9,8088 \cdot 218000} = 1462,3$ Metre.

Zwischen Rolle und Thonen am Genfer See hat Collado direkte Versuche über die Schallgeschwindigkeit im Wasser angestellt (Pogg. Ann. 12 S. 171). Die Entfernung beider Stationen betrug 13487 Metre. Sie wurde in 9,4 Sekunden vom Schalle unter Wasser durchlaufen, was einer Geschwindigkeit von $\frac{13487}{9,4} = 1435$ Metre entspricht.

Das Wasser des Genfer See's ist fast chemisch rein. Die Temperatur desselben zur Zeit der Versuche war 8,1°. Seine Dichtigkeit konnte also von der des reinen Wassers bei 0° nicht merklich abweichen.

Die Schallgeschwindigkeit im Wasser übertrifft die in der Luft um mehr als das vierfache.

519. Ueber die Geschwindigkeit des Schalls in festen Körpern ist nur eine einzige Beobachtung bekannt, die sich auf eine Körpermasse von nicht ganz unbedeutender Ausdehnung bezieht. Biot (traité II. 26) hat gefunden, dass sich der Schall einer Glocke durch die feste Masse einer gusseisernen Röhrenleitung von nahe 1000 Metre Länge mit mehr als 10mal grösserer Geschwindigkeit fortpflanzt, als durch die das Rohr ausfüllende Luft. Dieses Resultat, obschon nur ein Näherungswerth, ist genügend, um zu zeigen, dass der Schall durch feste Massen weit schneller als durch die Luft geleitet wird. Indirekte aber wahrscheinlich der Wahrheit sehr nahe kommende Angaben erhält man aus der Schwingungszahl des tiefsten Tones longitudinal schwingender prismatischer

50. Es werde z. B. ein frei in der Hand gehaltener Stab zum Wippen gebracht, so entspricht die seinem tiefsten Tone zugehörige Wellenlänge der doppelten Länge des Stabs. Diess ist also der Weg, welchen der Schall in derselben Materie während einer ganzen Schwingungsperiode zurücklegen kann. Die Schwingungszahl des tiefsten Tons mit der doppelten Länge des Stabs multiplicirt gibt also die gesuchte Geschwindigkeit,

Auf diesem Wege hat zuerst Chladni gefunden, dass die Schwindigkeit des Schalls in Eisen, Stahl, Glas, Tannenholz — 16mal grösser ist, als in der Luft.

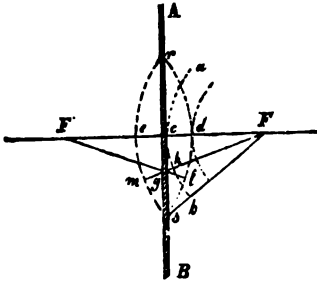
520. Die Geschwindigkeit der Schallwellen ist unabhängig von ihrer Länge. Dieser Satz der unmittelbar aus der Theorie hervorgeht, wird durch die Erfahrung vollkommen bestätigt. Denn wir hören, dass zwei Töne von ungleicher Höhe, die gleichzeitig hergebracht worden, z. B. zwei Klaviertöne, die einen musikalischen Akkord bilden, in geringerer wie grösserer Entfernung von der Erzeugungsstelle gleichzeitig gehört werden.

Aus der Kenntniss des Wegs, welchen der Schall in einer Sekunde zurücklegt, lässt sich hiernach die Länge der Wellen bestimmen, welchen er zugehört. Z. B. einer der tiefsten Töne, welche in der Musik gebraucht werden, entspricht 32 Schwingungen in der Sekunde. Diese Zahl mit sich selbst multiplicirt ist 1024; d. h. in Pariser Fuss gelesen fast genau die Wegeslänge, die der Schall in einer Sekunde in der Luft beschreibt. Die Höhe, welche jenem Tone zugehört, ist daher 32 Fuss lang. In der Musik kommen aber auch Töne von 2000 und mehr Schwingungen vor. Die Zahl 1024 durch 2000 dividirt, gibt eine Wellenlänge von nur 0,5 Fuss.

521. Zurückwerfung des Schalls in der Luft. — Wenn die fortschreitende Schallwelle gegen ein widerstehendes Hindernis stösst, das wir zunächst als eine ebne Fläche von unbestimmter Ausdehnung betrachten wollen, so findet eine Zurückwerfung statt. Aber verschiedene Theile derselben Wellenoberfläche können nicht gleichzeitig die Wand erreichen. Die Zurückwerfung beginnt daher bei demjenigen Schallstrahle, der von dem Erzeugungspuncte aus gegen die ebne Fläche senkrecht geht, und der kürzesten Entfernung entspricht. Jeder andere, gegen die ebne Fläche geneigte Strahl, wird später zurückgeworfen. Da nun die Lufttheilchen, dem durch den Widerstand der Wand seine Bewegung entzogen worden, zugleich entweder eine Verdichtung oder eine Verdünnung erfahren hat, so lässt sich jeder reflectirende Körper als selbstständige Ausgangsstelle einer Welle betrachten, die sich dann nach bekannten Gesetzen ausbreitet.

Es sei AB (Fig. 244) die zurückwerfende Fläche; abc die oben ankommende Schallwelle; cd ihre Länge; F der Ausgangspunct. Die in die Lage abc eingrückte Welle würde ohne den Widerstand der Wand in der folgenden Schwingungsperiode die Lage res erreichen. Allein in Folge des Stosses ist die bei c zuerst reflectirte Bewegung auf ihrem Rückwege bereits wieder in d gelangt ($ce = cd$) in demselben Augenblicke, da die Punkte r und s der Wellenoberfläche, welche unterdessen einen cd gleichen Weg

Fig. 244.



beschrieben haben, die Wand erreichen und bei ihnen die Zurückwerfung beginnt. Die Bewegung eines jeden andern Theilchens der Welle hat unterdessen, sei es direkt oder durch Reflexion eben so grossen Weg (cd) zurücklegen müssen. Z. B. der Strahl Fh , welchem direkt noch der Spielraum hg geblieben, muss durch Reflexion einen Weg von der Grösse gm beschreiben und hat deshalb von g aus als Mittelpunkt der zurückgeworfenen Bewegung irgend einen Punkt l ($gl = gm$) erreicht. Da g als ständiger Ausgangspunct einer Welle gelten kann, so darf man für l jeden Punkt des Kreisbogens nehmen, welchem gl als Radius zugehört also auch denjenigen, für welchen Winkel $lgs = mgs$. Man verlängere lg bis zum Durchschnittspuncte mit der Verlängerung der Linie Fc und nenne diesen Punkt F' . Die rechtwinkligen Dreiecke Fgc und $F'gc$ sind gleich, weil sie die Hypotenuse cg gemeinschaftlich und ausser den rechten Winkeln auch den Winkel $Fgc = F'gc$ haben. Es ist daher Linie $Fc = F'c$, auch $Fg = F'g$ und folglich auch $F'l = Fm$. D. h. der Punkt l gehört dem Kreisbogen dls an, der mit dem Strahle $F'l = Fm$ von F' als Mittelpunkt gezogen ist. Dasselbe gilt, und aus denselben Gründen, für jeden andern Strahl der reflectirten Welle ac . Der Kreisbogen rds bezeichnet also die Gränze, bis zu welcher die Bewegung der Welle, eine Schwingungsperiode nach dem Beginne der Zurückwerfung zurückgeschritten ist. Man sieht hieraus: dass die zurückgeworfene Welle sich gerade so verhält, als wäre sie von dem Punkte F' , der ebenso weit hinter der Fläche liegt, wie F vor derselben, als Erzeugungspunct ausgegangen, und dass die Richtung eines zurückgeworfenen Schallstrahls gefunden wird, in dem man von dem Punkte F' aus eine gerade Linie durch den Einfallspunct des direkten Strahls zieht.

Denkt man sich auf dem Einfallspuncte g ein Loth errichtet,

in die Ebene zu liegen, welche der einfallende mit dem Strahle bildet und die Neigung des einfallenden dieses Loth (der Einfallswinkel) ist der Neigung des Strahls gegen dasselbe Loth (dem Ausfallswinkel nach diesem Satze, der, wie man leicht sieht, ganz gleichung hat, lässt sich die Zurückwerfung des Schalls an ebenen Oberflächen bestimmen, indem jeder physische Reflexion als ebne Fläche betrachtet werden darf.

Die Mittelpuncte eines mit kreisförmigen oder kugelförmigen umgebenen Raumes ausgehenden Wellen müßten Reflexion zu ihrem Ursprunge zurückkehren, weil alle Reflexion auf der reflectirenden Wand senkrecht stehen. — Die Brennpuncte einer Ellipse oder eines Ellipsoids ebenfalls tragen den Schall durch Reflexion nach dem Brennpuncte, weil die von den Brennpuncten nach einem Brennpuncte der elliptischen Krümmung geführten Linien mit dem Brennpuncte errichteten Senkrechten gleiche Winkel

unter der gleichen Weise erklärt es sich, dass der Schall durch Reflexion an Hohlflächen mit annähernd parabolischer Krümmung in bestimmten Richtungen vorzugsweise geleitet wird; dass wenn man zwei Hohlsegmenten gekrümmte Hohlflächen so einander gegenüber stellt, dass ihre Axen zusammenfallen, die von dem Brennpuncte einen ausgehenden Schallstrahlen durch zweimalige Reflexion theilweise in dem Brennpuncte der andern Hohlfläche trifft. Befindet sich daher ein schallender Körper in dem Brennpuncte, so hört man den Schall in dem andern Brennpuncte stärker als in andern Stellen.

Beobachtet man sich in einer reflectirenden Wandfläche eine Hohlfläche, wird der auf dieselbe fallende Theil der Schallwelle nicht zurückgeworfen, sondern pflanzt sich durch dieselbe nach dem Brennpuncte fort, hierdurch nach Aussen geleitete Schall wird dann innerhalb des Winkels aFb (Fig. 245), in dessen Um-

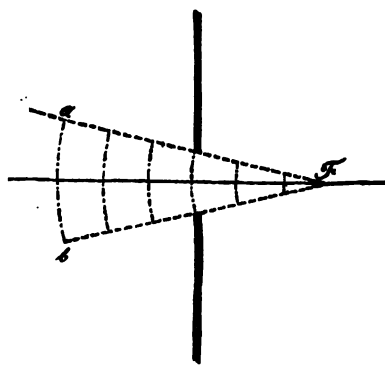


Fig. 245.

fang die Fortpflanzung der Bewegung unmittelbar statt findet, sondern auch seitwärts, obschon mit abnehmender Stärke empfunden. Denn jedes schwingende Lufttheilchen sucht die seiner Phase entsprechende Spannung nach allen Richtungen fortzupflanzen und versetzt dadurch die Lufttheile auch seitwärts von dem Winkel aFb in Schwingung. So kommt es, dass die Welle sich mehr und mehr nach den Seiten ausbreitet, je weiter sie ausserhalb der Oeffnung fortschreitet.

523. Schalleindrücke, welche in Zeitintervallen von weniger als $\frac{1}{2}$ Sekunde auf einander folgen, kann das Ohr nicht unterscheiden. Sie wirken zusammen als ein einziger Schall. So wird die von nahe liegenden Wänden reflectirte Schallwelle mit der direct einfallenden als gleichzeitig empfunden, und die eine dient nur, um den Eindruck der andern zu verstärken. Aus diesem Grunde schallt die Stimme in geschlossenen Räumen von geringer Ausdehnung stärker als im Freien. — Bei zunehmendem Abstand der Wände empfindet man allmählig die Verspätung des zurückgeworfenen Schalls durch eine, in grossen Sälen oft so lästig werdende Verlängerung des ursprünglichen (Nachhall). Endlich bei einem Abstände von der Grösse, dass die zurückgeworfene

Welle einen um wenigstens $\frac{1027}{9}$ Fuss grösseren Weg als die direkte zurückzulegen hat, löst sich der reflectirende Schall ganz von dem direkten und wird als Wiederhall (Echo) gehört.

Hat die zurückgeworfene Schallwelle einen Weg von 2, 3, 4mal $\frac{1027}{9}$ Fuss zu beschreiben, so können durch das Echo zwei oder mehrere Laute hintereinander wiedergegeben werden. Das Echo wird nachhallend (nachhallend), wenn eine Reihe reflectirender Körper, z. B. steile Abhänge eines Gebirges, zuges, in stetiger oder fast stetiger Zunahme der Abstände hintereinander liegen.

Befinden sich mehrere reflectirende Flächen in der Umgebung der Schallquelle so vertheilt, dass eine immer um wenigstens 60 Fuss weiter entfernt liegt, als die andere, so entsteht ein mehrfaches Echo. — Auch in der Mitte ringförmiger Plätze von wenigstens 60 Fuss Radius, die von hohen Häusern umgeben sind, wird ein mehrfaches Echo gehört.

In Kirchen, Hörsälen, Theatern vermindert man nachtheilige Wirkungen der Schallreflexion durch Oeffnungen in den Wänden, durch hervorragende Verzierungen und andere Unterbrechungen in der Einheit der reflectirenden Flächen. Auch durch Fenstervorhänge, Fusssteppiche, Behängen der Wände mit Tapeten, durch Anhäufung vieler Gegenstände in einem Raume wird die Stärke des Schalls in demselben gemässigt.

Unebenheiten der Wände schwächen die Intensität des Schalls, weil die regelmässige Ausbildung der zurückgeworfenen Schallwelle nicht zu lassen. Lockere Stoffe lähmen die Zurückwerfung überhaupt.

Die Luftwellen werden nicht nur von der Oberfläche fester und flüssiger Körper sondern auch von andern Gasen, ja selbst beim Eindringen in Luftmassen von verschiedener Dichtigkeit

eise zurückgeworfen; so beim Uebergange aus niederen
ere Luftschichten, aus kalter in warme, aus trockner in
ere Luft oder umgekehrt. (Zurückwerfung des Schalls von
olken.)

ie untersten Schichten der Atmosphäre sind theils durch un-
e Erwärmung des Bodens, theils in Folge des Verdunstungs-
ses bei Tage weit mehr als zur Nachtzeit von Strömungen
ch dichter Luft durchzogen. Die hieraus entspringenden
ichen Reflexionen der Schallwellen bilden neben der allge-
a Ruhe der Nacht die Hauptursache, warum der Schall
i weiter dringt als bei Tage. Wenn aber auch gar kein Hin-
s der Fortpflanzung des Schalls entgegensteht, so muss
Kraft gleichwohl bald abnehmen, weil die Intensität der
ngenden Lufttheilchen, vorausgesetzt, dass die Welle sich
abilden kann, im umgekehrten Verhältnisse zur Entfernung
er Ausgangsstelle steht.

24. Luftwellen, die sich in cylindrischen Röhren fortpflan-
üssen ihre Breite unverändert beibehalten und können nur
Reibung an den Röhrenwänden allmählich einen Theil ihrer
zung einbüßen. Durch Röhrenleitungen kann daher der Schall
st ungeschwächter Kraft von einem Ende bis zum andern
ragen werden. Schalleiter (Communicationsröhren) aus
isirtem Kaoutschuck, aus Gutta-Percha etc.

in sehr wirksames Mittel die Kraft der menschlichen Stimme
ewisser Richtung zu verstärken, bildet das Sprachrohr.
ein offnes conisches, oder eigentlich parabolisch gekrümm-
hr aus Metallblech, in dessen engerer Oeffnung, dem Mund-
, die Schallwellen erzeugt werden. Durch Reflexion von
nischen Seitenwänden erhalten sie dann eine solche Rich-
dass ihre Strahlen in der ganzen Breite der Ausmündung
hrs parallel laufen, folglich auch ausserhalb desselben län-
sammenhalten.

Is eine Umkehrung des Sprachrohrs ist das Hörrohr zu-
hten, welches gebraucht wird, die ganze lebendige Kraft
der weiteren Oeffnung des Rohrs eindringenden Welle zum
i leiten.

25. Das menschliche Gehörorgan besitzt die Fähigkeit
re Schalleindrücke zugleich aufzunehmen und sie von ein-
zu unterscheiden. Es geht hieraus hervor, dass die an ver-
enen Stellen erzeugten Luftwellen unabhängig von einander
reiten, ja nach allen Richtungen sich durchkreuzen
n, ohne sich dauernd zu stören. Dieses Verhalten entspricht
dem allgemeinen, aus dem Gesetze der Trägheit sich erge-
n Grundsätze der Mechanik, dass die unter der gleichzei-
Einwirkung mehrerer Kräfte erfolgenden kleinen Bewe-

gungen materieller Theilchen immer von der Art sind, dass gleichzeitig allen diesen Kräften vollständig Genüge lei müssen.

Vorübergehende Störungen kommen an den Stellen vor, welchen zwei Wellen in einander greifen (interferiren). bestehen, je nach der Richtung und Stärke der zusammenfallenden Bewegungen, je nachdem gleichartige oder ungleichartige Wellentheile sich durchkreuzen, in einer Verstärkung oder Schwächung und selbst Aufhebung der Bewegung. Nach erfolgter Durchkreuzung setzt aber jede Welle ihren Weg ganz nach der ursprünglichen Weise fort und ohne dass die Grösse der ihr eingepreßten lebendigen Kraft dadurch eine Aenderung erfährt.

Liegen die Ausgangspunkte zweier Wellenzüge von gleicher Wellenlänge sehr nahe, so vermischen sie sich unter dem Einflusse der eintretenden Interferenzen allmählig zu einem einzigen Systeme von derselben Wellenlänge aber vermehrter Intensität.

So wirken die durch eine schwingende Saite und die durch sie gleichzeitigen Perioden mitschwingenden Theile eines Resonanzsystems erzeugten Luftwellen, ungeachtet jeder stetig schwingende Theil als Ausgangsstelle eines Wellenzuges betrachtet werden kann einigem Abstände von dem Orte der Erzeugung doch nur wie ein einziges System.

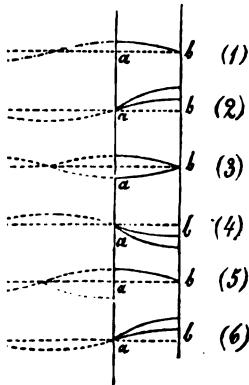
526. Stehende Luftschwingungen. — Da die Luftwellen mit den Längswellen in festen und tropfbar flüssigen Körpern hinsichtlich der Weise ihrer Entstehung und Fortpflanzung die vollkommenste Uebereinstimmung zeigen, so ist es auszugehen, dass Luftwellen unter Bedingungen ähnlicher Art, wie die in No. 500 erörterten ebenfalls stehend werden müssen. In der That kann man in cylindrischen Röhren, seien sie ganz offen oder am einen Ende geschlossen, stehende Schwingungen leicht vorbringen.

Es werde zunächst ein einerseits geschlossenes Rohr mit dem offenen Ende einem Zuge von Wellen entgegengestellt, dessen Länge das vierfache von der des Rohrs beträgt. Die Schwingungsperiode sei $4t$. Eine beim Beginne dieser Zeit dem Rohr ankommende Welle wird nach der Zeit t bis zum geschlossenen Ende vorgedrungen sein.

Es bezeichne ab (Fig. 246) die Länge des Rohrs. Das Dichtigkeitsverhältniss der aufeinander folgenden Luftschichten im Innern desselben, sei in den verschiedenen Phasen einer Schwingungsperiode durch die Curve dargestellt. Fig. (1) gibt demnach das Dichtigkeitsverhältniss der Schichten, wenn die Welle bis zum Punkte b fortgeschritten ist. Einen Zeitraum t später ist der ge-

te Vordertheil der Welle in das Rohr eingedrungen und die re Hälfte desselben durch Zurückwerfung von der Hinterseite wieder bis zur Einmündung *a* des Rohrs zurück-

Fig. 246.



gegangen. Alle Luftschichten im Rohr von je gleichen aber entgegengesetzt gerichteten Kräften ergriffen, befinden sich daher in diesem Augenblicke in Ruhe; die Dichtigkeit an jeder Stelle ist verdoppelt. Die verdichteten Theile setzen unmittelbar darauf gleichzeitig ihre rückgängige Bewegung fort und, nachdem abermals ein Zeitraum *t* verflossen, würde die reflectirte Verdichtungswelle vollständig entwickelt sein (3), wenn nicht unterdessen der verdünnte Hintertheil in dieselbe Stellung eingerückt wäre. Durch

Interferenz beider Wellenhälften sind die Lufttheilchen im selben Augenblick in den natürlichen Dichtkeitszustand über-
 kehrt. Ihre Geschwindigkeit im Sinne von *b* nach *a* ist verdoppelt. An der Hinterwand selbst 0, hat sie an der Mündung ihr Maximum erreicht. Zu Ende des folgenden Zeitraums *t* der Vordertheil der reflectirten Welle das Rohr ganz und interferirt mit der zweiten Welle des Zugs, welche sich bis vor die Mündung gerückt ist. Der Hintertheil der reflectirten Welle ist ganz in das Rohr eingedrungen und zur Hälfte beider Rohrwände bis an die Mündung zurückgeworfen. Wieder ist da-
 augenblicklicher Ruhestand eingetreten, verbunden mit Verdünnung an *a* nach *b* zunehmenden Verdünnung (4). Indem man die Beobachtungen fortsetzt, ist nun leicht zu übersehen, dass wieder nach der Zeit *t* die Lufttheilchen (je unter dem Einflusse der ein-
 wandernden und zurückgeworfenen Welle) von *a* nach *b* in die natürliche Gleichgewichtslage schwingen (5), und nach dem Zeitraum *t* später, oder eine Zeit *4t* nach dem ersten Ein-
 tritt in Ruhe bei verdichtetem Zustande, von Neuem gleichzeitig in Ruhe sich befinden u. s. f. Die Schwingungen sind stehend geworden und der Zeitraum einer Hin- und Herbewegung ist demjenigen gleich, in welchem sich eine Luftwelle bei ungehindertem Fortschreiten um die vierfache Länge des Rohrs fortpflanzen würde.

Die schwingende Luftsäule kann auch Knotenpunkte erhalten. Die Analogie mit dem Verhalten eines elastischen Stabes, dessen ein Ende fest ist, lässt leicht erkennen, wo im Innern des Rohrs möglicherweise Knotenpunkte und wo Stellen

grösster Geschwindigkeit bei natürlicher Luftdichte ent
können.

Haben z. B. die eindringenden Wellen $\frac{1}{2}$ von der Länge
Rohrs, so muss, von dem geschlossenen Ende des Rohrs
rechnet, in dem Abstände $\frac{1}{3} l$ ein Punkt grösster Geschw
keit im Abstände $\frac{2}{3} l$ ein Knotenpunkt entstehen. Der hier
gebildete Ton ist höher als derjenige, der ohne Knoten
schwingenden Luftsäule und entspricht der dreifachen S
gungszahl. Im Allgemeinen verhalten sich die Schwin
zahlen der Töne, welche in einem Rohre, das an einem En
geschlossen ist, möglicherweise entstehen können, vom
dieser Töne angefangen, wie 1 : 3 : 5 u. s. w.

Will man einen Ton haben, dessen Schwingungszahl
pelte jenes tiefsten Tones ist, so muss das Rohr um die
verkürzt werden.

Aber auch die Luftsäule in einem ganz offenen Rohre kö
nöthigt werden, stehende Schwingungen zu vollenden. It
stehungsweise gleicht derjenigen der stehenden Längens
gungen eines frei gehaltenen prismatischen Stabs. Gesetzt
Rohr sei halb so lang als eine Luftpelle, welche eben im
ist, am einen Ende einzutreten, so wird nach der Zeit $2t$ i
zer Vordertheil eingedrungen sein und eben am vorderen En
Rohrs anlangen. Während des Fortschreitens im Innern,
die aufeinander folgenden Luftschichten bei gleicher S
gungsphase immer genau gleiche Dichtigkeit und Schwin
Intensität an. Diess gilt aber nicht mehr für die austre
Wellentheile, weil diese sogleich beginnen sich nach den
auszubreiten. Der Dichtigkeitsunterschied zwischen ein
reits ausserhalb befindlichen und dem folgenden noch i
Wellenelemente nimmt dadurch zu und mit ihm die Schwin
weite der Theilchen. So kommt es, dass beim Austritte ein
dichtungswelle mehr Luft aus dem Rohr entfernt wird, bei
tritt einer Verdünnungswelle mehr in dasselbe eindringt, a
normalen Dichtigkeitszustande entspricht. Die Welle wird
von der Ausmündung des Rohrs. ganz so wie beim Ueber
von Luft in ein Gas von geringerer Dichte, zurückgeworfen
jede Verdichtungswelle kehrt als Verdünnungswelle und je
letzteren Art als eine der ersteren zurück. Es ist nun klar
im Uebrigen alles so wie unter ähnlichen Umständen in ein
gehaltenen elastischen Stabe vor sich gehen muss. Der
Ton, welchen ein offnes Rohr geben kann, entspricht einer
tenpunkte in der Mitte desselben und wird durch eine Lu
getragen, deren Länge der doppelten Länge des Rohrs
kommt. Seine Schwingungszahl verhält sich zu derjenig
höheren Töne, die in demselben Rohre durch Vermehrung
Schwingungsknoten entstehen können, wie 1 : 2 : 3 u. s. w

Erfahrungsmässig liegt für den Fall des tiefsten Tons der Notepunct nicht genau in der Mitte des Rohrs, sondern etwas weiter nach vorn. Wahrscheinlich aus dem Grunde, weil der Effect der Reflexion nicht unmittelbar an der Ausmündung sondern etwas ausserhalb derselben statt findet.

Aehnlich wie die Luft können begreiflich alle Gase zum Tönen gebracht werden. Für alle wiederholt sich der Satz: dass die Länge der in einem ganz offenen Rohr, oder allgemeiner und schärfer, die Länge der zwischen zwei Knotenflächen schwingenden Gassäule, die Hälfte von der Wellenlänge beträgt, um welche die Schallwelle in demselben elastischen Medium während einer Schwingungsperiode fortschreitet. Für diesen Zeitraum wurde früher (505) der Ausdruck gefunden:

$$T = 4l \sqrt{\frac{s}{gb} \cdot \frac{1}{K}};$$

l die Länge eines am einen Ende geschlossenen Rohrs, also 2l den Abstand von einer Knotenfläche zur andern und 4l die Wellenlänge, endlich K das Verhältniss der spec. Wärme bei constantem Drucke zur spec. Wärme bei constantem Volume, z. B. für Luft die Zahl 1,415 vorstellt. Aus dieser Gleichung ergibt sich die einer tönenden Gassäule entsprechende Schwingungszahl

$$n = \frac{1}{T} = \frac{1}{4l} \sqrt{\frac{gb}{s} \cdot K}.$$

Wird nun in ein und demselben Rohr zuerst Luft, dann ein anderes Gas der Weise zum Tönen gebracht, dass in beiden Fällen entweder der selbe Ton, oder der nächst höhere oder der zweite u. s. w. entsteht, mit andern Worten, dass die durch beide Gase erzeugten Töne einerlei Wellenlänge entsprechen, so bildet sich zwischen ihren Schwingungszahlen das Verhältniss:

$$n^2 : n'^2 = \frac{1,415 \cdot b}{s} : \frac{b \cdot K}{s'}.$$

Die Werthe von n und n' lassen sich aus den Tonhöhen ableiten. Sind die für gleiche Spannkraft beider Gase ihre Dichtigkeiten s und s' bekannt, so kann K als die einzig vorkommende Unbekannte berechnet werden.

Auf diese Weise hat Dulong (Pogg. Ann. B. 16 S. 455), indem er die Flöte nach und nach mit verschiedenen Gasen ertönen liess, die bei S. 127 angeführten Zahlen gefunden.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in denselben Gasen wurde nun mit Hilfe der Gleichung

$$v = \sqrt{g \frac{b}{s} k}$$

bestimmt.

Sie beträgt bei 0° für:

Luft	333	mtre.
Sauerstoff	317,17	„
Wasserstoff	1269,5	„
Kohlensäure	261,6	„
Kohlendioxyd	337,4	„
Stickstoffdioxyd	261,9	„
Öelbildendes Gas	314	„

Theorie der Musik und der musikalischen Instrumente.

527. Die wissenschaftliche Betrachtung der verschiedenen Töne insbesondere der schwingenden Saite und der tönenden Luftsäule, hat besonderes Interesse wegen der Anwendung derselben in der Musik. Die Kunst des Instrumentenbaues ist indessen der Wissenschaft lange vorgegangen und letztere hat die Eintheilung und Benennung der Töne der Musik entlehnt. Es ist darum unsere nächste Aufgabe, die Grundlagen der Musik ausdrucksweise hier kurz zu entwickeln.

Wenn man eine Saite am Monochord auf unveränderter Tonhöhe eine andere ähnlich ausgespannte Saite aber durch ganz allmähliche Zuzug oder Verlängerung immer höhere oder immer tiefere Töne lässt, so bemerkt man leicht auffallende Verschiedenheiten in der Stärke und Richtung des Eindrucks, welchen die gleichzeitig angegebenen Töne auf das Ohr hervorbringen. Sind beide aus gleichem Material gleicher Dicke und durch gleiche Gewichte gespannt, so findet man jedesmal dann, wenn der Eindruck ein angenehmer, gleichartig oder sogenannter harmonischer ist, die Längen beider Saiten, mit ihren Schwingungszahlen in einem durch einfache ganze Zahlen ausgedrückten Verhältnisse stehen. Je grösser die Primzahlen sind, durch welche das Verhältniss der Schwingungszahlen gegeben ist, desto widriger (dissonanter) ist der Eindruck der gleichzeitig angeschlagenen Töne. Umgekehrt übrigens, als sich eine Gränze zwischen kleinen und grossen Zahlen bestimmen lässt, so wenig lässt sich eine solche für das Gebiet der Dissonanzen und Disharmonieen angeben.

Mit dem am Monochord unverändert erhaltenen Tone, dem Grundton, klingen diejenigen Töne am gleichartigsten, deren Schwingungszahlen die des Grundtons betragen. Man hat das Verhältniss 1 : 2 das Doppelte genannt und das ganze Bereich der musikalischen Töne in Oktaven eingetheilt, indem man als die Gränzpuncte derselben die Töne von 1 bis 2 Schwingungszahlen erwählte:

Grundton	der Contra - Oktave	Bezeichnung:	Schwingungszahl
		C	33
„	„ grossen	C	66
„	„ kleinen	c	132
„	„ eingestrichenen	c	264
„	„ zweigestrichenen	c̄	528
„	„ dreigestrichenen	c̄	1056
„	„ viergestrichenen	c̄	2112

Innerhalb der nämlichen Oktave, also z. B. von c bis c̄ lasse man noch mehrere Töne auffinden, welche, mit dem Grundton c gleichzeitig angeschlagen, harmonisch klingen. Die Verhältnisse der Schwingungszahlen dieser Töne zu dem Grundton oder die musikalischen Intervalle dieser Zweiklänge sind die folgenden:

Verhältniss.		Name.
Grundton	höherer Ton	
2	3	Quinte
3	4	Quarte
4	5	Grosse Terz
5	6	Kleine Terz
3	5	Sexte
5	8	Kleine Sexte.

Die gleichzeitige Verbindung dreier Töne oder ein Dreiklang ist harmonisch (ein Akkord), wenn jeder der drei Töne mit andern in einem der eben angegebenen Verhältnisse steht. Man kann aus den Tönen einer Oktave eine grössere Anzahl Akkorde bilden, die lassen sich allein durch Versetzung des Grundtons um eine Oktave aufwärts, oder des obersten Tones um eine Oktave abwärts, in die folgenden wesentlich verschiedenen Dreiklänge zurückführen:

Durakkord.		Mollakkord.		
Grosse Terz.	Quinte.	Grundton.	Kleine Terz.	Quinte.
5	6	10	12	15

Die Schwingungsverhältnisse des Durakkords oder grossen Dreiklangs können durch einfachere Zahlen ausdrücken, als diejenigen des Moll- oder kleinen Dreiklangs und dem entsprechend hat der erstere einen reinen Klang. Jeder der beiden Akkorde ist jedoch als Grundlage für die hümlichen Geschlechts harmonischer Compositionen angenommen worden. In den civilisirten Nationen der neueren Zeit in anerkanntem Gebrauche. Man kann Grundton, grosse Terz, Quarte, Quinte, Sexte und Oktave angeben, so fühlt man, dass zwischen Grundton und Terz, sowie zwischen Quarte und Oktave Lücken bestehen, welche für eine wohlgefällige Ergänzung gross sind. Sehr schicklich werden diese Lücken ausgefüllt, indem man über demjenigen Tone, welcher dem Grundton am nächsten vertritt, die Quinte, einen neuen Durakkord aufbaut. Nimmt man die Schwingungszahl des Grundtons zur Einheit, so hat die obere Terz der

Schwingungszahl $\frac{3}{2} \cdot \frac{5}{4} = \frac{15}{8}$, dieser neue Ton fällt

mit der Sexte $\frac{8}{5}$ und die Oktave 2, und führt den Namen Septime. Die obere Quinte der Quinte hat die Schwingungszahl $\frac{3}{2} \cdot \frac{3}{2} = \frac{9}{4}$

ist höher als die Oktave. Versetzt man den Ton aber um eine Oktave abwärts, ist seine Schwingungszahl $\frac{9}{8}$, er fällt zwischen den Grundton 1 und die Sekunde $\frac{3}{2}$, und hat den Namen Sekunde erhalten. Ueberhaupt werden die folgenden Namen erst jetzt vollkommen verständlich, wenn man die Verhältnisse der Töne in der folgenden Reihe, der Durtonleiter, ins Auge fasst, welche hier sammt der gebräuchlichen Bezeichnung der Töne mit den Schwingungsverhältnissen angegeben ist:

	Prime.	Sekunde.	Terz.	Quart.	Quinte.	Sexte.	Septime.	Oktave.
c	d	e	f	g	a	b	c	
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2	

Die Durtonleiter wiederholt sich dieselbe Folge von Verhältnissen, auch die Bezeichnungen bleiben im Wesentlichen dieselben. Die obere Oktave \bar{c} wird mit \bar{a} (eingestrichen a) bezeichnet und hat auf c bezogen, die Schwingungszahl $2 \cdot \frac{5}{3} = \frac{10}{3}$. Auf dem Klavierinstrumente sind gewöhnlich 6 bis 7 solcher Oktaven übereinander gebaut, deren

Namen und Grundtöne schon oben angegeben wurden. Da es nicht bei der musikalischen Anordnung (Stimmung) eines Instrumentes nicht darauf ankommt, die Verhältnisse der verschiedenen Töne zu einander kennen, sondern da auch die absolute Schwingungszahl wenigstens eines Tones bestimmt sein muss, so hat man für diesen Normalton einen gewählt, welcher etwa in die Mitte des ganzen Bereichs musikalischer Töne fällt und auf sämtlichen musikalischen Instrumenten vorkommen kann. In allen Orchestern bedient man sich gekrümmter Stahlstäbe (Stimmen) welche den Ton \bar{a} angeben, zur Herstellung einer gleichartigen Stimmung der Instrumente. Die Schwingungszahl dieser Stäbe ist nicht aller Orten die nämliche; doch ist man nun übereingekommen, bei den wissenschaftlichen Erörterungen \bar{a} zu 440 (Doppel-) Schwingungen anzunehmen, eine von welcher die eingeführten Normaltöne sämtlich nur wenig nach der Höhe oder nach der Tiefe hin abweichen. Die tiefere Sexte von \bar{a} erhält hiernach $\frac{2}{3} \cdot 440 = 293\frac{1}{3}$ Schwingungen, und so ist es in der obigen Tafel der Grundtöne der verschiedenen in der Musik gebräuchlichen Stimmen angenommen.

529. Es ist unverkennbar, dass die harmonische Beziehung der durch das geometrische Verhältnis ihrer Schwingungszahlen bestimmt. Zwischen den Schwingungszahlen 33, 66, 132, 264, der aufeinander folgenden Oktaven sind die Unterschiede sehr ungleich, die Quotienten sind immer gleich 2. Das musikalische Intervall zweier Töne ist ausgedrückt durch die Quotienten ihrer Schwingungszahlen.

Untersuchen wir hiernach die Intervalle der aufeinander folgenden Durtonleiter, so ergeben sich

c	d	e	f	g	a	b	\bar{c}
$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$	

also dreierlei verschiedene Intervalle. Das Intervall $\frac{9}{8}$ heisst ein grosser ganzer Ton, $\frac{10}{9}$ ein kleiner ganzer Ton, $\frac{16}{15}$ ein halber Ton; Der Abstand zwischen kleiner und grosser $\frac{5}{4} : \frac{6}{5} = \frac{25}{24}$ wird ein kleiner halber Ton, jedes kleinere Intervall, wie z. B. das zwischen einem kleinen und einem grossen Tone $\frac{9}{8} : \frac{10}{9} = \frac{81}{80}$ ein musikalisches Comma genannt.

530. Da sich nur von Oktave zu Oktave dieselben Intervalle wiederholt, so würde eine solche Reihe von Tonleitern nur ein sehr unkommodenes musikalisches System darbieten, indem die nämliche Melodie auf einem bestimmten Grundtone oder eine oder mehrere Oktaven höher oder tiefer sich ausführen liesse. Wollte man dagegen über jedem der Tonleiter als Grundton eine der angeführten vollkommen gleichen errichten, so würde die hierzu erforderliche grosse Anzahl von Tönen wohl den Bau als die Handhabung der musikalischen Instrumente sehr schwierig machen. Es bietet sich hier eine Aushilfe dadurch, dass die Schärfe, womit auch das musikalisch gebildete Ohr die Reinheit eines Tones zu beurtheilen vermag, eine Gränze hat, welche sehr bald erreichte Töne, welche ihrer theoretischen Herleitung zu Folge, sich nur um ein wenig von einem Comma wie etwa um 1,01 unterscheiden, können, ohne dass der Mensch die Harmonien dadurch Eintrag geschieht, miteinander verschmelzen werden, und man gewinnt durch diese Lizenz bei einer begränzten A

Die Töne, ein System, in welchem über jedem Tone ganz dieselbe Stufenfolge folgt. Es wird diese Abweichung von der mathematischen Reinheit der Intervalle, welche übrigens wegen der Unvollkommenheiten des Materials, wegen der Temperatureinflüsse etc., doch immer nur in der Idee stören würde, die temperirte Stimmung eines Instrumentes genannt.

Das Folgende soll zeigen, wie man zu der jetzt allgemein üblichen, gleichmäßigen oder gleichschwebenden Temperatur gelangt. Ueber die reinen Quinte von c, also über g, gibt die obige Tonleiter folgende Reihe von Intervallen:

$$\begin{array}{cccccccc} \text{g} & \text{a} & \text{b} & \text{c} & \text{d} & \text{e} & \text{f} & \text{g} \\ \frac{10}{9} & \frac{9}{8} & \frac{16}{15} & \frac{9}{8} & \frac{10}{9} & \frac{16}{15} & \frac{9}{8} & \end{array}$$

Vergleicht man diese mit den Normaltonleitern von c bis c, so weichen die ersten fünf Intervalle höchstens nur um ein Comma ab und können darum beibehalten werden. Das sechste Intervall aber ist zu klein, das siebente zu ebensoviel (einen halben Ton) zu gross und man sieht, dass diesen Mangel durch Einschaltung eines neuen Tones zwischen f und g, um eine halbe Tonstufe höher als f, abgeholfen werden kann. Dieser neue Ton hat die Namen fis erhalten.

Geht man nun von g zu einem neuen Grundton fort, welcher wieder eine Quinte höher liegt also zu d, so benutzt man zunächst die Tonreihe c, fis, g, a, b; nun treten wieder dieselben Mängel ein, wie im vorigen Theile, zwischen c und d muss ein neuer Ton cis eingeschaltet werden. Man würde in dieser Weise, in den Grundtönen von Quinte zu Quinte vorschreiten, immer neue Töne einschalten müssen, wenn nicht die zwölfte Quinte, deren Schwingungszahl $\left(\frac{3}{2}\right)^{12} = \frac{531441}{4096} = 129,7$, von der siebenten Oktave, deren Schwingungszahl $= 2^7 = 128$, so wenig verschieden wäre, dass anstatt jener diese letztere angenommen werden kann. Da man aber auf einem Grundton c angelangt ist, so schliesst der Quintencirkel; dieselbe Reihe von Quinten beginnt von Neuem. Es ist natürlich, dass man

den Fehler $\frac{129,7}{128} = 1,013$ nicht auf die letzte Quinte allein wirft, sondern auf die zwölf Quinten, durch welche man aufgestiegen ist, zu gleichen Theilen vertheilt, indem man jeder eine geringe Schwebung abwärts gibt. Denkt man sich diese sämtlichen Quinten, in reinen Oktaven abwärts gehend, auf das Gebiet einer Oktave reducirt, so erhält diese die bekannten 12 Töne, welche mittelst der 8 Untertasten und der 5 Oberkasten des Klaviers oder der Orgel angegeben werden. Keines der harmonischen Intervalle hat bei dieser gleichschwebenden Temperatur seine volle Reinheit behalten, allein die Abweichungen liegen sämtlich innerhalb erlaubter Grenzen und sind bei den einfachsten Zweiklängen, der Quinte und Quarte, bei welchen eine Beeinträchtigung der Reinheit am leichtesten bemerkt wird, äusserst gering. Die Oktaven bleiben völlig rein.

Die Berechnung des temperirten Quintenintervalls x geschieht nach der Gleichung $x^{12} = 2^7 = 128$ und es ergibt sich hieraus $x = 1,49831$, während die reine Quinte $= 1,5$ zu nehmen wäre. Die zweite Quinte hat die Schwingungszahl $x^2 = 2,24492$; sie fällt schon in die folgende Oktave; der entsprechende Ton in der Oktave des Grundtons, von welchem man ausging, hat demnach die Schwingungszahl $\frac{x^2}{2} = 1,12246$. Man sieht leicht,

...

wie hiernach die Schwingungszahlen der 12 Töne einer gleichschwingtemperirten Oktave berechnet werden.

Die Resultate sind die folgenden:

c	1,00000	fis	1,41421
cis	1,05946	g	1,49831
d	1,12246	gis	1,58740
dis	1,18921	a	1,68179
e	1,25992	ais	1,78180
f	1,33484	h	1,88775
	\bar{c}	2,00000.	

Die Kenntniß der Molltonleiter ist für die akustischen Untersuchungen von keinem besonderen Interesse. Es genügt anzuführen, dass die eine halbe Tonstufe erhöhte d, also dis, als hinreichend übereinstimmend mit der kleinen Terz, deren Schwingungszahl gleich 1,2, betrachtet werden kann, und dass somit das beschriebene temperirte Tonssystem auch für Mollharmoniken ausreichend ist.

531. Suchen wir nunmehr die Tonfolge auszudrücken, welche nämlich in gedeckten oder offenen Pfeifen durch Hervorrufen innerer Knoten und im gleichen Verhältnisse zahlreicherer Knotenabtheilungen entsteht. Es ist bereits No. 526 entwickelt worden, auf welche Weise stehende Schwingungen in Röhren mit steifen Wänden sich bilden und dass, wenn dieser Zustand eingetreten ist, eine einerseits geschlossene Röhre eine ungerade Anzahl von Viertelwellen, eine beiderseits offene Röhre eine gerade Anzahl von Viertelwellen, also irgend eine Anzahl von Wellen fasst.

Man erhält daher den tiefsten oder Grundton einer gedeckten Pfeife, wenn man mit ihrer vierfachen Länge, den einer offenen, wenn man die doppelte Länge in die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft dividirt. Eine offene Pfeife von 8 Fuss Länge z. B. gibt bei 16° C Temperatur, bei welcher die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft = 1056 Par. Fuss ist, den Ton von $\frac{1056}{16} = 66$ Schwingungen, also C. Wenn man die Pfeife, so sinkt der Grundton um eine Oktave, also auf C₁, den Orgeln sind gewöhnlich die Pfeifen der Contraoktave gedeckt, um nicht eine unbequeme Länge geben zu müssen*).

Von dem Grundtone ausgehend folgen die Schwingungszahlen der monischen Obertöne, bei der gedeckten Pfeife wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7, 9, Ist der Grundton C, so ist der nächste die Quinte Oktave, also g, der dritte die Terz der Doppeloktave, also e. Der vierte Ton 7 liegt in der nämlichen Oktave, wie der vorhergehende hat in Beziehung auf den Grundton c den Namen der kleinen Septime erhalten. Sein Schwingungsverhältniss zu c oder $\frac{7}{4} = 1,75$ weicht nur wenig von dem zwischen a und h eingeschalteten Tone der temperirten Skala (No. 527) etwas nach Unten ab.

Die Schwingungsverhältnisse der Obertöne der offenen Pfeife sind

*) Das Tonverhältniss der gleichlangen offenen und gedeckten Pfeifen ist nicht genau das der Oktave, sondern nähert sich etwas dem der Quinte an, weil, wie schon oben erwähnt wurde, die Zurückwerfung der Wellen an dem Ende der Pfeife nicht genau am Ende der Röhre, sondern erst am Ende der Röhre vollständig erfolgt. Die Knotenräume verlängern sich hierdurch um etwas und der Ton wird tiefer.

Reihe der ganzen Zahlen ausgedrückt; diese Töne sind demnach die folgenden:

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
c	g	c̄	ē	ḡ	āis-	c̄	d̄	ē	f̄+	ḡ	ā-	āis-	h̄	c̄

Die Orgelpfeifen werden so construirt, dass sie nur einen Ton, den man rein und in möglichster Fülle geben, die harmonische Oberreihe mit bei ihnen nicht zur Anwendung. Bei anderen Blasinstrumenten dagegen, wie z. B. bei dem Waldhorn, bei welchem die Röhre, der Bequemlichkeit der Handhabung wegen, in vielen engen Windungen gebogen ist, reichen die Obertöne leicht, der Grundton nur sehr schwer an. Bei diesem Instrument, welches als ganz offene Pfeife zu betrachten ist, ist es gerade die harmonische Oberreihe, welche zur Anwendung kommt. Die kleinen Unterschiede zwischen den mathematisch reinen und den temperirten Tönen werden der Künstler durch die Art des Anblasens corrigiren. Der etwas zu hohe Ton 11 wird durch theilweises Decken des Schalltrichters mit der 12 und in das temperirte f̄, der etwas zu tiefe Ton 13 durch verstärktes Anblasen in das temperirte ā verwandelt.

532. Bei einer grossen Anzahl von Blasinstrumenten hat man, um die Bildung von bestimmten Knotenabtheilungen zu erleichtern, Seitenöffnungen in der Röhre angebracht. Wenn diese Oeffnungen sämmtlich mit den Fingern oder durch besondere Klappen oder Ventile geschlossen gehalten werden, kann die Luftsäule im Ganzen zum Tönen gebracht werden, das Instrument gibt seinen tiefsten Ton. Öffnet man irgendwo ein Seitenloch, so hören sich fortan nur solche stehende Schwingungen in der Röhre behaupten, für welche ein sogenannter Schwingungsbauch, d. h. eine Stelle, an welcher die Luft in stärkster Oscillation und von stets gleicher Dichte ist, den Ort der Seitenöffnung trifft; der Ton wird höher. Es ist jedoch nicht ganz richtig zu sagen, der Ton sei dann der nämliche, als wenn die Pfeife an der Stelle der Seitenöffnung abgeschnitten und der untere Theil weggewonnen sei. Da die Seitenöffnungen im Lichten nie die innere Röhre haben, so bleibt der Ton immer etwas tiefer, als derjenige der Pfeife, welche vom Mundstück bis zum geöffneten Seitenloche reicht; es ist so, als wenn diese Pfeife theilweise gedeckt wäre.

Der Umstand, dass Pfeifen von gleicher Länge, aber aus verschiedenem Material, zwar gleiche Tonhöhe, aber einen verschiedenen Klang geben, beruht, dass ein Theil der Bewegungsgrösse, welche durch das Anblasen der Pfeife mitgetheilt wird, sich von der schwingenden Luft auf die starren Wände überträgt. Gibt man der Röhre sehr dünne und nachgebende Wände, z. B. aus Papier, welchem durch Wasserdampf seine Steifigkeit benehmen worden ist, so schwindet die Tonstärke der Pfeife fast ganz da-

her. Sehr mit Unrecht hat man aus derartigen Versuchen schliessen wollen, dass die Schwingungen der Wände die Haupttonmasse der Pfeife abgeben. Man sieht leicht ein, dass die Starrheit der Wände für die Bildung kräftiger stehender Schwingungen der Luft eine notwendige Bedingung ist.

533. Man hat in wissenschaftlichen Untersuchungen sehr mannichfaltige Methoden angewendet, um die in einer Röhre eingeschlossene Luftsäule zu stehenden Schwingungen zu veranlassen. Eine Platte, eine Stimmgabel, welche man am unteren Ende der Röhre schwingen lässt, reichen hierzu hin. Auch Erhitzen der Luft in einer an die Röhre angeschmolzenen Kugel (Pogg. Ann. XLII, 610, LXXIX, 1. Journal für prakt. Chem. XXII, 129) ja auch die Detonationen der Knallgasflamme, über welche man eine Röhre legt, kann man dasselbe Resultat erzielen. In der ausübenden Musik sind zwei Methoden des Anblasens im Gebrauch. Entweder man treibt mittelst eines Blasesorgels oder mit dem Mund einen bandförmigen Luftstrom über eine an der Röhre

angebrachte Oeffnung, so dass der Strom sich an der entgegenstehenden zugespitzten Röhrenwand spaltet und im Tempo der stehenden Luftschwingungen aus- und einwärts oscillirt. DIess geschieht z. B. bei den genannten Flötenwerken der Orgel, den eigentlichen Pfeifen, — er treibt die Luft in einen Behälter, welcher mit der Röhre nur durch eine schmale Spalte in Verbindung steht, in der ein längliches schwingendes Plättchen aus Messing oder Stahl (die sogenannte Zunge) so angebracht ist, dass es bei seinen Oscillationen die Spalte abwechselnd gerade schliesst und wieder öffnet — diess ist der Fall bei den Zungenwerken der Orgel. Es werden dabei entweder aufschlagende Zungen, d. h. solche, welche breiter als die Spalte, sich auf die Ränder derselben auflegen, durchschlagende Zungen, d. h. solche, welche bei ihrer Oscillation den Spalte, ohne die Ränder zu streifen, gerade durchgehen können, angewandt. Da die Tonhöhe der Zungenpfeifen sowohl durch die Schwingungsdauer der Zunge, als durch die Länge der Röhre bedingt wird, so gelten für Pfeifen überhaupt andere Gesetze, als für die Flötenwerke, sie erfordern daher eine besondere Betrachtung.

534. W. Weber, welcher diese Pfeifen genauer studirt hat (Ann. XVI. 193. XVII. 193.) bewies zunächst, dass der sonore Ton der Pfeife weder von der Zunge noch durch die stehenden Schwingungen der Luft in der Ansatzröhre gegeben werde. Die Zunge einer volltönenden Pfeife in einem Schraubstock ein gespannt und mit dem Violinbogen gestrichen, nur äusserst schwach. Die Ansatzröhre konnte immer weiter verhärtet werden, fast ganz weggenommen werden, ohne dass der Ton der Zungenpfeife höher oder auch nur in annäherndem Verhältnisse schwächer wurde. bleibt demnach nur übrig, die Entstehung des Tones den Stössen zuzuschreiben, welche die eingeblasene Luft, da sie abwechselnd durch die Spalte tritt oder von der Zunge gehemmt wird, auf die jenseits befindliche Luft ausübt. Die Anzahl dieser Stösse, also die Tonhöhe der Pfeife ist durch die Zahl der Schwingungen der Zunge bedingt. Allein die Zunge, von der eingeblasene Luft in Bewegung gesetzt, vermag nicht an sich selbst die Schwingungen der Querschwingungen elastischer Stäbe zu folgen. Ihre Schwingungen stehen unter dem Einfluss der Reaction, welche die stehenden Schwingungen der Luftsäule im Ansatzrohr auf sie ausüben. Die Tonhöhe mithin auch von der Länge dieses letzteren abhängig.

Weber hat auf zwei Vorzüge aufmerksam gemacht, welche die Zungenpfeife in Folge ihrer Zusammensetzung aus zwei elementaren Tonquellen vor andern Instrumenten voraus hat. Ein feines musikalisches Gehör unterscheidet sehr wohl, dass alle Töne, welche aus Längenschwingungen hervorgehen, wie die Töne von Pfeifen und longitudinal schwingenden Stäben etwas in die Höhe gehen, wenn sie über eine gewisse Grösse hinaus verstärkt werden, während umgekehrt die Dauer der Querschwingungen mit der Grösse derselben etwas zunimmt. Eine Stimmgabel tönt im Abklingen etwas höher. Da die Tonhöhe einer Zungenpfeife einerseits durch die Querschwingungen der Zunge, andererseits durch die Längenschwingungen stehender Luftwellen bedingt wird, so ist es leicht beiden Elementarbestandtheile so gegeneinander abzugleichen, dass der Tonverstärkung auftretenden entgegengesetzten Effekte sich gerade ausgleichen. Eine solche compensirte Zungenpfeife gibt einen Ton, welcher vom leisesten Hauche bis zum stärksten Ansprechen sich auf genau dieselbe Höhe erhält.

Eine andere Folge der Zusammensetzung der Zungenpfeife aus zwei elementaren Tonquellen ist die, dass der Ton ein einfacher, von Bell vollkommen freier ist. Eine Saite oder Flötenpfeife oder ein schwingender Stab, lassen neben dem Grundton meist noch, wenn auch schwach, die der harmonischen Obertöne hören, indem sich von selbst schwingende Luftabtheilungen bilden, welche neben den stärkeren Schwingungen des Grund-

s bestehen. Da aber die Reihe der Allquottöne für die Zunge eine andere ist, als für die Luftsäule des Ansatzrohrs, so vermögen für Obertöne die Schwingungen der beiden Bestandtheile sich nicht zu unteren und es werden darum keine Beiltöne gehört.

535. Wir kommen nun auf einen Fall der Interferenz zweier Wellen zurück, welcher sich mit gewöhnlichen Orgelpfeifen am Besten hörmachen lässt, und welcher für die wissenschaftliche Akustik dadurch besonderes Interesse gewonnen hat, dass es gelungen ist, eine Methode Messung der Schwingungszahlen und ein Verfahren der Stimmung musikalischer Instrumente darauf zu gründen, welche an Genauigkeit der Mäthe alle früher bekannten Methoden (No. 512) weit hinter sich

en. Tartini hatte um die Mitte des 18ten Jahrhunderts bemerkt, dass bei gleichzeitigem Anschlagen zweier Töne, welche in einem einfachen harmonischen Verhältnisse stehen, wie vom Grundton mit Terz, Quarte oder Quinte, ausser jenen beiden noch ein dritter, weit tieferer Ton hörbar werde, falls von einfacher harmonischer Beziehung zu den beiden ursprünglichen Tönen. Diese tieferen Töne, welche den Namen Combinationstöne erhielten, erklären sich aus dem Zusammenwirken der Wellenzüge, welche die beiden ursprünglichen Töne tragen. Gesetzt, ein Grundton sammt einer Terz sind gleichzeitig so angegeben, dass die vierte Verdichtungswelle des ersten mit der fünften Verdichtungswelle des zweiten Tons gleichzeitig zum Ohre des Hörers gelangt, so machen diese einen stärkeren Eindruck, als die folgenden Verdichtungswellen, welche nicht gleichzeitig wirken. Allein bei jeder vierten Schwingung des ersten Tones kehrt die Welle verstärkte Wirkung wieder. Findet diess in einer Sekunde mehr 8 bis 10 mal statt, so verbinden sich diese periodisch verstärkten Einwirkungen zu einem Tone, dessen Schwingungszahl zu der des angegebenen Tones im Verhältniss von 1 : 4 steht.

Es ist die tiefere Doppeloktave des Grundtons. c von 264 Schwingungen c von 330 Schwingungen gibt als Combinationston C von 66 Schwingungen. 66 ist das grösste gemeinschaftliche Mass der Zahlen 264 und 330 und man sieht leicht ein, dass man immer, um die Schwingungszahl eines Combinationstons zu finden, das grösste gemeinschaftliche Mass der Schwingungszahlen der ursprünglichen Töne zu suchen hat. (Ueber Combinationstöne höherer Ordnung, ihre Erklärung und die Ursachen ihrer vorwiegenden Hörbarkeit s. Hallström in Pogg. Ann. XXIV, 438.)

536. Bei gleichzeitigem Anschlagen von zwei Tönen, welche vom Einfachen oder von einem andern mathematisch reinen Intervall nur um ein wenig verschieden sind, hört man anstatt eines Combinationstones nur abwechselnde Ab- und Zunahmen der Tonstärke, sogenannte Schwebungen oder Stösse. Auch diese Erscheinung erklärt sich leicht aus dem Zusammenwirken der Wellen. Gesetzt, ein Ton von 66 und ein anderer von 67 Schwingungen würden gleichzeitig angeschlagen, der erste mit einer Verdichtungswelle, der zweite mit einer Verdünnungswelle beginnend, so heben diese im ersten Augenblicke auf; allein bei der ungleichen Dauer beider Schwingungen verschieben sich die entgegengesetzten Wellenhälften der beiden Töne nach immer mehr und einmal während der ersten Sekunde treffen die Verdichtungswellen beider Töne genau zusammen, am Ende des Zeitablaufes ist das Verhältniss wieder dasselbe wie am Anfang, in der nächsten Sekunde wiederholen sich die nämlichen Beziehungen, und man versetzt daher in jeder Sekunde einen Stoss. Stellt man die beiden Wellen durch Curven dar und bildet das zusammengesetzte Wellensystem, so sieht man sich das Anschwellen und Abnehmen des resultirenden Systems deutlich dar. — Zwei Töne von 66 und von 68 Schwingungen oder von 66 und 64 Schwingungen geben in einer Sekunde ein zweimaliges Anschwellen und Abnehmen, also zwei Stösse; überhaupt ist bei zwei Tönen, welche sich

zur wenig vom Einklang entfernen, die Anzahl der in einer Sekunde genommenen Stöße dem Unterschied der Schwingungszahlen. Wenn man die beiden Töne längere Zeit auf gleicher Höhe anhält wie dies bei einer gut construirten Orgel oder bei Stimmgabeln, auf einen Resonanzboden aufgeschraubt und vor ungleicher Temperatur geschützt werden, der Fall ist, so lässt sich mit Hilfe eines Sekundenzählers auf eine Sekunde kommende Stosszahl mit Genauigkeit messen. Scheibler hierauf eine Methode gegründet, die Schwingungszahl eines Tones zu bestimmen. Er bestimmt die Stosszahl des Tons mit einem benachbarten höheren, dann diesem letzteren und einem wieder etwas höheren und so fort, zu der rein gestimmten Oktave des Grundtons gelangt ist. Die Summe gemessenen Stosszahlen ist gleich dem Unterschied der Schwingungszahlen des Grundtons und der Oktave, also gerade der Schwingungszahl des Tons gleich.

Die Genauigkeit des Resultates leidet etwas durch die grosse von Messungen, welche hier erforderlich sind. Scheibler war da müht, ohne das Prinzip seiner Methode zu ändern, dieselbe dadurchlässiger und brauchbarer zu machen, dass er anstatt des Einklangs, Intervalle in Anwendung zu bringen suchte. Demgemäss bestimmte rein experimentellem Wege die Verhältnisse, nach welchen die Stosszahl der Abweichung von der Reinheit, bei Benutzung anderer Intervalle des Einklangs sich ändert. Die Resultate seiner Beobachtungen, für welche Vincent*) das allgemeine Gesetz aufgefunden hat, (Ann. chim. [3] XXVII. 191) sind in der folgenden Tafel enthalten.

Nr.	Art der Consonanz.	Verhältniss.	Schwingungen mehr oder weniger für 1 Stoss.		Stöss mehr oder weniger für 1 Schw.
			höherer Ton.	tieferer Ton.	höherer Ton.
1	Einklang	1 : 1	1	1	1
2	Oktave	2 : 1	1	$\frac{1}{2}$	1
3	Doppeloktave	4 : 1	1	$\frac{1}{4}$	1
4	Quinte	3 : 2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	2
5	Quarte	4 : 3	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	3
6	Grosse Terz	5 : 4	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	4
7	Kleine Terz	6 : 5	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	5
8	Grosse Sexte	5 : 3	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{5}$	3
9	Kleine Sexte	8 : 5	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{8}$	5
10	Duodecime	3 : 1	1	$\frac{1}{3}$	1
11	Decime	5 : 2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{5}$	2
12	Septemdecime	5 : 1	1	$\frac{1}{5}$	1

*) Wenn $\frac{m}{n}$ das harmonische Verhältniss zweier Töne in einfachsten Zahlen ausdrückt, wenn km und kn die wirklichen Schwingungszahlen dieser Töne sind, so weist Vincent nach, dass zwei Töne von Schwingungsverhältniss $\frac{km + m'}{kn + n'}$ einen Stoss in einer Sekunde geben, wenn $\frac{m'}{n'}$ der dem Verhältniss $\frac{m}{n}$ am nächsten kommende

Hat man hiernach z. B. beim Anschlagen eines Grundtones mit einer zu hoch gestimmten Quinte, in der Sekunde Einen Stoss, so darf man wissen, dass der höhere Ton $\frac{1}{5}$ Schwingung weniger oder der tiefere Schwingung mehr machen müsste, wenn die volle Reinheit hergestellt werden sollte. Eine Abweichung von einer Schwingung im tieferen Ton würde nach drei Stösse, eine Abweichung von einer Schwingung im höheren würde zwei Stösse in der Sekunde geben.

Die Anwendbarkeit obiger Tafel sowohl auf die Stimmung rein mathematischer Intervalle als auf die Tonmessung, leuchtet ein. Um eine Oktave rein stimmen, richtet man sie so ein, dass sie mit einem in ihrer Nähe gelegenen Hülftone eben so viel Stösse gibt, als der Grundton. Hat man den Ton in der Nähe des Grundtons gewählt, so gibt die Oktave doppelt so viel Stösse mit demselben als der Grundton. Die reine Stimmung einer Orgel beurtheilt ein einigermaßen geübtes Ohr mit grosser Schärfe, bei grossen Intervallen leistet daher die Anwendung der Stösse verhältnissmässiger Dienste.

Bei Tonmessungen auf der Orgel geht man gern auf die grosse Oktave über, weil bei dieser die Stosszahl benachbarter Töne noch unmittelbar messbar ist. Anstatt die auf eine Sekunde kommende Anzahl von Stössen zu messen, bedient man sich eines Metronoms, d. h. eines Pendels, dessen Schwingungsdauer nach einer an demselben befindlichen Theilung halb gewisser Gränzen beliebig geändert werden kann. Man stellt dann durch allmählicher Annäherung das Pendel so, dass eine leicht zählbare Anzahl von Stössen, etwa 4, 5 oder 6, gerade auf einen Pendelschlag kommt und reducirt nachher auf die Sekunde. Hätte man die Schwingungsdauer eines Tones e zu messen, so wäre es leicht, nach der oben beschriebenen Methode die Töne E und G im rein mathematischen Intervallenverhältnisse nach e zu stimmen. Misst man alsdann die Stosszahl zwischen K und G , so hat man $E = \frac{1}{2} e$, $G = \frac{6}{5} E = \frac{3}{5} e$, also $G - E =$

$\frac{1}{10} e$, d. h. es ist die Summe der gemessenen Stosszahl zu verzehnfachen, um die Schwingungszahl von e zu finden.

Der Bruch ist, welchen man bei Verwandlung von $\frac{m}{n}$ in einen Kettenbruch erhält. Das Verhältniss $\frac{km + m'}{kn + n'}$ kann aber ohne einen in akustischer Beziehung in Betracht kommenden Fehler auf folgende zwei Arten gestellt werden:

$$\frac{km \pm \frac{1}{n}}{kn} \quad \text{oder} \quad \frac{km}{kn \pm \frac{1}{m}}$$

Im Stoss entspricht also einer Abweichung von der Reinheit des Intervalls von $\frac{1}{n}$ Schwingung im unteren Ton, oder von $\frac{1}{m}$ Schwingung im oberen Ton. Es ist dabei gleichgültig, ob die Abweichung nach Oben oder nach Unten stattfindet. Eine Abweichung von Einer Schwingung gibt m Stösse, eine gleiche Abweichung im oberen Tone n Stösse in der Sekunde. Es ist leicht, die Uebereinstimmung der in obiger Tafel enthaltenen Fälle mit dieser allgemeinen Formel zu erkennen.

Auch auf die Stimmung der temperirten Skale hat Scheibler, diesen Gegenstand mit unermüdetem Fleisse verfolgt, die beste Methode angewendet. Er übertrug für die 12 Töne einer Oktave der irren Skale Hilfs- oder Nebentöne auf Stimmgabeln, so dass je mit dem richtigen Tone 4 Stösse auf Pendel 60 (60 Schläge in der geben musste. Mit Hilfe dieser Gabeln kann auch eine Person, ohne alles musikalische Gehör ist, ein Instrument stimmen; es mit 12 richtig temperirten Töne nach dem eben beschriebenen Verfahren oberen und unteren Oktaven übertragen werden. Wie indessen auf jene 12 Nebengabeln die temperirte Stimmung einer Orgel oder ein viers auf den Grund der oben S. 534 mitgetheilten Schwingungsnisse der gleichschwebend temperirten Skale mit Hilfe der Stöss funden werden kann, darüber geben die nachfolgenden Schriften S und Andrer Auskunft:

H. Scheibler, über musikalische und physikalische Tonmen deren Anwendung auf Pianoforte- und Orgelstimmung, Crefeld 1831 über die Scheibler'sche Erfindung überhaupt und dessen Pianoforte Orgelstimmung insbesondere, Crefeld 1837. Röber, Pogg. Ann. XI und 492, Figur dazu im XXXI Bande.

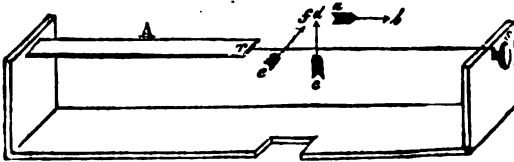
537. Die Gesetze der Saltenschwingungen sind oben (No. 4) ständig entwickelt worden. In der Musik macht man ausschliesslich von den Querschwingungen der Saiten, welche durch den kleineren Hämmer (Flügel, Pianoforte), durch Reissen mit dem Fing einem Stifte (Harfe, Gitarre, Cithar), oder endlich durch Streichen einem Strang mit Harz eingeriebener Rosshaare (Streichinstrumente) werden. Eine Saite gibt ihren tiefsten Ton, wenn sie in ihrer ganzen schwingt, doch macht man in der Musik auch Gebrauch von den A oder Flageoletönen der Saiten, welche durch Unterabtheilung in 2, 3, etc. gleiche Theile entstehen.

538. Bei den Pfeifen wird das in den stehenden Schwingungsluftsäule enthaltene Bewegungsmoment fast ganz auf die Saite übertragen, welche den Ton dem Hörer zuführen; nur ein sehr kleiner Theil geht durch Reibung der Luft an den Wänden oder durch Reibung derselben verloren. Anders verhält es sich mit dem Ton der Beil der geringen Oberfläche, welche diese Fäden von Metall oder anderer Membran der Luft darbieten, stellt sich ein ungünstiges Verhältniss heraus zwischen dem Theil des Bewegungsmomentes, welcher auf die Saite übertragen wird. Eine Saite zwischen zwei Befestigungspuncten auf die Unterlage übertragen wird. Eine Saite zwischen zwei massen ausgespannt, tönt nur äusserst schwach. An allen Saiteninstrumenten ist daher eine Einrichtung getroffen, um auch den auf die Saite übergehenden Theil des Bewegungsmomentes für den Ton nutzbar zu machen und man nennt diess: die Tonverstärkung durch Resonanz.

Savart verdankt man die Erforschung der allgemeinen Gesetze bei der Mittheilung der Schwingungsbewegung herrschen. Er fand, dass die primäre Verschlebung der Moleküle stets derjenigen an der Bewegungsstelle parallel bleibt, über wie viel verschiedene Theile eines aus starren und tropfbar-flüssigen Körpern eine Schwingungsbewegung auch verbreiten mag. Nur als sekundäre Erscheinung können die Flageolet-Schwingungen in anderm Sinne auftreten. Um diese Thatsache in einfachen Fällen anschaulich zu machen, kann man sich des folgenden Versuchs bedienen. An einem rechteckigen Gestelle (Fig. 24) ist ein Stäbchen *A* von geradefaserigem Fichtenholz befestigt und in der Verlängerung desselben eine Saite *rs* ausgespannt, welche durch Reiben mit ein

er Richtung ab in Längenschwingungen oder durch Streichen mit Inbogen nach der Richtung cd oder ef in Querschwingungen ver-

Fig. 247.



den kann. Hat man vorher das Brettchen A mit seinem trockenem od beatret, so zeigt die Bewegung desselben und seine Anordnung nlinien, dass die Richtung der Molekularschwingungen im Brett- jenigen der Saite parallel ist.

n verschiedene Körper fest miteinander verbunden sind, so kann ein solcher Bewegungszustand behaupten, bei welchem das ganze n Einklange schwingt. Jede Ursache, welche die Schwingungsdauer zelnen Theils verändert, äussert ihren Einfluss auf die Tonhöhe des nden Systems.

dagegen die einzelnen Theile nur gegeneinander gelehnt, wie die gen den Resonanzboden, so schwingt der ursprünglich erregte Theil emäss seiner Form, Elasticität und Dichte, und dieselbe Schwin- ier überträgt sich unverändert auf die übrigen Theile, freilich je Beschaffenheit derselben mit grösserem oder geringerem Erfolge. ommensten überträgt sich der Schwingungszustand eines Körpers i andern dann, wenn beide, für sich angeschlagen, einen gleichen en würden, also gleich gestimmt sind. In diesem Fall ver- ie Luftwellen allein schon einen hörbaren Schwingungszustand von irper auf einen andern in gewisser Entfernung zu übertragen, indem n Stösse der Luft sich häufig und gerade in den rechten Zeitab- wiederholen, um ihre Wirkungen zu summiren. Beim lauten Spre- r Singen in einem Zimmer hört man die gleichgestimmten Saiten an demselben Raume befindlichen Instrumente plötzlich erklingen. Noch der kann man diese Erscheinung wahrnehmen, wenn zwei grosse, nen gleich gestimmte und auf Resonanzkästchen aufgeschraubte beln nebeneinander aufgestellt werden und man dann die eine der- nachschlägt und nachdem sie kurze Zeit erklingen, ihre Schwingungen Man hört dann den nämlichen Ton in merklicher Fülle von der an- el ausgehen.

solche vortheilhafte Resonanz kann man indessen an den Instru- welche eine grosse Anzahl von Tönen geben sollen, nicht anwen- i den Saiteninstrumenten begnügt man sich, sämtlichen Saiten ätzpunkt auf einem solchen Körper zu geben, welcher bei hoher it ein hinreichend geringes Gewicht besitzt, um jeden Schwingungs- mit Leichtigkeit anzunehmen. Man gibt demselben eine flache Form, ine Schwingungen sich auf einer grossen Fläche der Luft mittheil- is, Stahl und Fichtenholz entsprechen den genannten Anforderungen h ihrer Elasticität und Dichte ungefähr in gleichem Masse; allein ig, welchen die beiden ersten Körper in dünnen Platten geben, ist em weniger angenehm, als der des geradfaserigen Fichtenholzes; daher der letztere Körper ausschliesslich zu Resonanzböden ange-

An dem Stege, einem quer über den Resonanzboden laufenden uf welches sich sämtliche Saiten stützen, findet die Mittheilung ügung statt; Stäbe, welche unter dem Resonanzboden seiner Länge

nach laufen, sind bestimmt, die Eintheilung in einzelne Schwingung zu verhindern, und somit die Fichtenplatte zu nöthigen, als 6 Schwingungen der Saite zu folgen. Dieselben übertragen sich Kräftigsten auf die umgebende Luft.

Auch die Luftmassen, welche in den Kästen der Guitarre, d Instrumente und des Klaviers eingeschlossen sind, dienen als mittel, indem sie, den Schwingungen der Resonanztafel und d folgend, selbst in stehende Oscillationen gerathen. Savart hat d reiche Versuche gefunden, dass die Grösse dieses Luftvolums l gleichgültig ist und man von den Verhältnissen, welche bei d Instrumenten nicht durch die wissenschaftliche, sondern durch die Experimentirkunst festgestellt worden sind, nicht abweichen darf Güte der Instrumente Eintrag zu thun.

539. Das schönste aller musikalischen Tonwerkzeuge, die men Stimme, ist den Akustikern lange ein Räthsel gewesen, wenschon bezweifeln konnte, dass sie in dem aus Knorpeln gebildeten oberen Luftröhre, dem sogenannten Kehlkopfe ihren Sitz hat. Während einer Seite angenommen wurde, dass die im Kehlkopfe ausgespannt höchst elastischem Gewebe bestehenden häutigen Bänder, die St der, welche der Luft zwischen sich nur einen schmalen Durchg sogenanntem Stimmritze lassen, nach Art der Saiten schwi tönten; vertheidigte einer der einsichtsvollsten Forscher im G Akustik, Savart, die Ansicht, dass die menschliche Stimme an des Tones einer Flötenpfeife zu Stande komme. J. Müller bet den wahren experimentellen Weg und wies nach, dass die m Stimme als ein Zungenwerk zu betrachten sei, bei welchem jedd der Weichheit und Dehnbarkeit der Stimmbänder, welche hier die Metallzunge der gewöhnlichen Zungenpfeifen vertreten, einige Mod in den Gesetzen der Tonerzeugung eintreten. Müller überze durch Experimente an natürlichen Exemplaren, dass die Luftröh Anblasrohr dient, die oberen Räume des Kehlkopfs, der Mund- u höhle, als Resonanzmittel dienen und den Klang der Stimme u dass die Tonhöhe aber allein durch die Schwingungsdauer der Stimml dingt ist. Diese hängt hauptsächlich ab von dem Grade der Anspannung der Stimmbänder, erzeugt durch Muskeln, welche d Knorpel, woran die vorderen Enden jener elastischen Bänder befe vor- oder rückwärts ziehen. Indem Müller einen natürlichen aufspannte und die Wirkung der Muskeln durch den Zug von Gew setzte, vermochte er durch Eintreiben von Luft beinahe den ga fang der menschlichen Stimme hervorzubringen. Doch kann auch chend von dem Verhalten starrer Zungen, der Ton membranöser l gleichbleibender Spannung durch stärkeres Blasen in die Höhe werden. Ueberhaupt sprechen die tieferen Töne schon bei geringen an, ganz leise schon bei einem Drucke, welcher durch eine W von 1,5 bis 2 Centimeter gemessen wird, während zum leise sprechen z. B. von a schon ein Druck von etwa 16 Centimeter wird.

Endlich glaubt Müller sich überzeugt zu haben, dass bei den chen des zweiten Registers der menschlichen Stimme, der sogenat sett- oder Fistelstimme nur die äussersten, der Stimmritze liegenden Ränder der Stimmbänder unter Einwirkung eines verhä lfg geringen Luftdrucks in Schwingung versetzt werden.

Alle Theile des Kehlkopfs, insbesondere die Stimmbänder Stimmritze, sind bei dem weiblichen Geschlechte von geringerer l bei dem männlichen und es ist in Folge hiervon der musikalisch der Stimme verschieden. Bass (F bis \bar{c}), Baryton (B bis \bar{f}), u

is \bar{b}) finden sich nur bei Männern; Alt (f bis \bar{f}) und Sopran (is \bar{c}) dagegen bei Weibern und Kindern. Der gewöhnliche Umfang einigermaßen geübten Stimme beträgt zwei Oktaven.

549. Das Gehörorgan. — Der Apparat, welcher Menschen Thieren zur Aufnahme von Schallwellen dient und die Emulung der Töne vermittelt, ist seinem anatomischen Baue nach genau, der physiologischen Bedeutung der einzelnen Theile nur unvollkommen erforscht. Ein vom Gehirn ausgehender Nervenstrang ist auch hier, wie bei jeder Sinneswahrnehmung, wesentlichste Theil. Derselbe breitet sich bei dem menschlichen Ohre mit seinen feinen Endfasern im Innern dreier engen Höhlen, der halbcirkelförmigen Kanäle und zweier sackförmig zusammengezwungener Gänge, der Schnecke, welche aus knöchernen Wänden gebildet, in die festeste Knochenmasse des Schädels eingelagert sind. Diese Räume, das sogenannte knöcherne Labyrinth, sind mit schlauchförmiger Flüssigkeit, dem häutigen Labyrinth, ausgekleidet und dieses mit einer wässerigen Flüssigkeit, dem Gehörwasser, welches zwischen feinen Fasern des Gehörnervs umspült, gefüllt. Die Schallwellen, welche auf die Ohrmuschel treffen, dringen durch den äußeren Gehörgang ein und treffen auf eine feine gespannte Membran, das Trommelfell, welche die sogenannte Trommel- oder Schallhöhle gegen den äusseren Gehörgang abschliesst. Die Leitung der Schallschwingungen vom Trommelfell durch die Schallhöhle zum Gehörwasser des Labyrinths und somit zum Nerven geschieht auf zwei Wegen. Die Gänge des Labyrinths münden in die Trommelhöhle durch zwei mit feiner Haut geschlossene Oeffnungen, der untere Gang der Schnecke durch das runde Fenster, die Erweiterung eines der halbcirkelförmigen Kanäle, der sogenannte Vorhof, in welchen auch der obere Gehörgang mündet, durch das ovale Fenster. Die Membran des runden Fensters wird durch die Wellen erschüttert, welche durch die Luft der Trommelhöhle fortgehen. Die Leitung durch das ovale Fenster, welche nach J. Müllers Beobachtungen nachgeahmten, künstlichen Apparaten, die wirksamere sein wird, wird durch eine Kette äusserst feiner und zierlicher Knöchelchen vermittelt, welche ineinander eingelenkt sind. Das erste Knöchelchen, der Hammer, ist mit einem Fortsatz ins Trommelfell verwachsen, während der andere Fortsatz auf dem zweiten Knöchelchen, dem Ambos, ruht. Es folgen dann das linsenförmige Bein und der Steigbügel, welcher mit seiner unteren Seite so auf dem ovalen Fenster aufsteht, dass ringsum nur ein häutiger Rand bleibt, an welchem der Steigbügel unter dem Einfluss des Schallwellen hin und her zittert.

Die Luft in der Trommelhöhle wird durch einen nach der

Mundhöhle hinführenden Gang, die Eustachische Röhre der äussern Luft auf gleicher Spannung erhalten. Wenn Verstopfung dieser Röhre, durch Luftabsonderung im Innern, durch Krankheit der Spannmuskeln des Trommelfells, die einen Zustand allzugrosser Anspannung versetzt ist, tritt Schwerhörigkeit ein, welche indessen mit Entfernung der Ursachen hört. Noch leichter ist der Fehler zu verbessern, wenn Schwerhörigkeit durch Verstopfung des äussern Gehörganges durch Schmutz oder dergl. herbeigeführt ist. Das Gehör verschwindet aber nicht, wenn die Kette der Gehörknöchelchen zerstört wird; es besteht dagegen nicht länger, wenn ein vom Labyrinth zur Trommelhöhle führenden Fenster geöffnet das Gehörwasser ausfliesst und der trocken gelegte Gehörgang abstirbt.

Man hat, weil Schallwellen nicht allein durch die Luft sondern auch durch die feste Knochenmasse des Kopfes zu den Hörnerven geleitet werden, ein einfaches Mittel, um zu beurtheilen ob der Nerv noch lebt und in Thätigkeit ist. Ein Metallstück oder eine Schnur befestigt, welche man zwischen den Zähnen oder eine Stimmgabel auf den Kopf aufgesetzt, müssen, wenn zum Tönen gebracht werden, auch bei anscheinender Taubheit noch vernehmbar sein, wenn die Krankheit nicht in dem Nerven selbst ihren Sitz hat.

Was übrigens den Gehörnerv vor andern Nerven bei der Schallschwingungen als Ton zu empfinden und die Schärfe, mit welcher sich diese Schwingungen wiederholen, in grosser Leichtigkeit zu schätzen, ist eben so wenig bekannt zu welchem Zweck die halbcirkelförmigen Kanäle und die Schnecke ihre eigenthümlichen Formen haben.

XII. Von dem Lichte.

Erste Abtheilung.

541. Die Natur hat uns die Fähigkeit verliehen, Gegenstände Gestalt, Grösse, Farbe der Körper aus der Entfernung zu erkennen, die Körper zu sehen. Das Organ, durch dessen Besitz dieses Vermögen erlangen, das Auge, ist jedoch nur die mittelnde Geräthschaft zu diesem Zwecke, die Ursache des Sehens kommt von Aussen. Die Körper, um für uns sichtbar zu

nicht nur dem Auge gegenüberstehen, sondern auch sich zu gewissen Zustände, in dem des Leuchtens befinden. Wir können dann einen eigenthümlichen Eindruck auf den Gesichtsorganen, sie bringen darin diejenige Empfindung hervor, die wir Empfindlichkeit nennen. Die äussere Ursache dieser Einwirkung ist das Licht.

Die meisten Körper besitzen nicht selbstständig das Vermögen, Lichteindrücke hervorzubringen, und sind dann nicht durch ihre eigene Gegenwart sichtbar. Man nennt sie nicht leuchtend oder dunkle Körper, zur Unterscheidung von den selbstleuchtenden oder den Lichtquellen. Zu den letzteren gehören die Sonne, die Fixsterne, die Flamme.

Die genügende Temperaturerhöhung können alle Körper glühend, d. h. selbstleuchtend werden. — Licht durch Verbrennung oder andere chemische Vorgänge; electricisches Licht. — Manche Körper werden schon durch geringe Temperaturerhöhung, oder nachdem sie eine kurze Zeit den Strahlen ausgesetzt waren (durch Insolation) im Dunklen leuchtend, durch eine merkliche Aenderung ihrer chemischen Beschaffenheit zu selbstleuchtend. Man nennt diese Erscheinung Phosphorescenz.

Einige Körper, die bei auffallendem Grade zeigt sie der Flussspath, von dem einige schon unter dem Siedpuncte leuchtend werden; Diamant, Schwefelcalcium, Arseniccalcium, und andere Kalkverbindungen. Diese Körper, wenn sie durch Bestrahlung phosphorescirend gemacht sind, behalten im Dunklen und im verschlossenen Raume diese Eigenschaft oft mehrere Stunden und selbst Tage lang.

Die schwache Leuchten des faulen Holzes, faulender Seefische und anderer Thiere beruht, wie das des Phosphors auf einer langsamen Verwesung. — Phosphorescenz des Meeres.

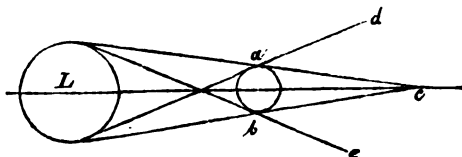
3. In der Umgebung eines stark leuchtenden Körpers werden die ursprünglich dunklen ebenfalls leuchtend und werden sichtbar.

4. Der Eindruck eines leuchtenden Körpers auf das Auge wird durch alle andere Körper aufgehoben, sobald sie in die gerade Linie zwischen das Auge und den leuchtenden gelangen. Wiederum wie Luft, Glas, Wasser lassen Lichteindrücke durch. Man nennt daher undurchsichtige und durchsichtige Körper. Körper, die zwar etwas Licht durchlassen, aber dem Auge nicht gestatten, die Quelle desselben zu erkennen, nennt man halbtransparente.

5. Der Raum hinter einem undurchsichtigen Körper, z. B. der hinter einem Schirme, in welchen das Licht nicht einfallen kann, heisst der Schatten des ersteren. Wenn die Lichtquelle nur ein Punct ist, und man von diesem ausgeht, entfernt man sich nach dem Rande des Schirmes zieht, so wird der Schatten desselben genau durch die Verlängerungen dieser Linie begrenzt; so dass der Schatten im Allgemeinen die Umrisse des Körpers darstellt. — Experimentalphysik

Gegenstandes selbst wiedergibt. Hat hingegen die L einen beträchtlichen Umfang, so ist der Schatten nicht sgränzt, sondern es findet von dem inneren Theile desse (Fig. 248), dem sogenannten Kernschatten, in wel

Fig. 248.



kein Licht von dem Körper L aus gelangen kann, bis zu sten Umgränzung, durch die verschiedensten Abstufun Helligkeit, ein allmählicher Uebergang statt. Dieser äuss des Schattens, innerhalb dessen ein um so grösserer leuchtenden Körpers sichtbar bleibt, je näher sich das den Gränzlinien ad oder be befindet, wird Halbschatt nennt. — Ganze und theilweise Verfinsterungen der Erd Mondes. —

Aus dem Verhalten des Schattens geht hervor, dass wirkungen in gerader Linie fortschreiten. Einen fernere für diesen Fundamentalsatz der Lichtlehre findet man i fahrung, dass wenn eine Platte mit enger Oeffnung zwis Auge und einen kleinen Gegenstand gestellt wird, letz dann sichtbar ist, wenn die von demselben gegen die gerichtete Gerade zugleich in das Auge fällt. — Anwend die Lehre der Perspective. Perspectivische Zerrbilder (morphosen.

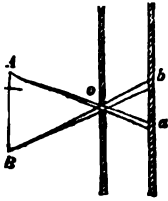
Eine gerade Linie von einem leuchtenden Punkte beliebiger Richtung gezogen, heisst Lichtstrahl. Di druck ist unabhängig von jeder Vorstellung über die Ur Lichtes und soll nur die Thatsache bezeichnen, dass pflanzung von dem Lichtpunkte aus nach geraden Linien allen Richtungen geschieht.

Ein kegelförmiger Raum, der einen leuchtenden P Scheitel, die Pupille des Auges, oder irgend eine and Fläche zur Basis hat, wird Lichtkegel (auch Lic Strahlenkegel) genannt. Die Axe des Kegels heisst strahl.

543. Befindet sich einem leuchtenden Gegenst gegenüber ein Schirm und in diesem eine enge Oeffnung gültig ob rund, dreieckig, viereckig oder wie sonst ge dringt durch dieselbe von jedem Lichtpunkte aus ein Lichtstrahlen. Auf einer weissen Wand, hinter der Oeff

igt sich dann ein verkehrtes Bild, dessen Grösse (lineare Dimension) sich zu der des Gegenstandes verhält, umgekehrt wie der Abstände von der Oeffnung.

Es ist leicht, zu sehen, dass jeder Lichtpunct eines Gegenstandes *AB* (Fig. 249) nur einen einzigen kleinen Fleck auf der weissen Wand beleuchten kann und dass folglich die von verschiedenen Puncten aus erzeugten hellen Flecke eine dem Gegenstande selbst ähnliche Figur bilden müssen, deren Grösse in demselben Verhältnisse wie der Abstand der weissen Wand von der Oeffnung zunimmt. — Bilder der Sonne, im Schatten dicht belaubter Bäume, hervorgebracht durch das hier und da zwischen den Blättern durchfallende Licht. —



Auf ähnliche Weise kann man in jedem verdunkelten Raume, der aussen befindlicher Gegenstände erhalten, wenn man den diesen ausgehenden Lichtstrahlen nur durch eine enge Oeffnung den Zutritt gestattet. Die Umrissse dieser Bilder sind jedoch immer etwas verwaschen, weil jeder Punct von welchem Licht ausgeht, im Bilde nicht wieder einen Punct, sondern eine kleine Fläche beleuchtet. Die von verschiedenen Lichtpuncten beleuchteten Flecke greifen bei zunehmender Grösse der Oeffnung mehr und mehr in einander. In demselben Verhältnisse verlieren die Bilder an Deutlichkeit und verschwinden bei sehr grossen Oeffnungen ganz. — So erzeugt das durch die Fenster einfallende Licht keine Bilder, sondern nur den allgemeinen Eindruck von Helligkeit.

544. Der innere Raum des Augapfels ist mit Flüssigkeiten ausgefüllt, die fast eben so durchsichtig sind, als die Luft. In dieser durchsichtigen Masse werden die Lichtstrahlen nur durch eine kleine, kreisrunde Oeffnung, das Lichtloch oder die Pupille zugelassen; auf einer weissen Fläche im Hintergrunde des Auges, der Netzhaut (retina) müssen daher verkehrte Bilder der äusseren Gegenstände entstehen, ganz so wie unter ähnlichen Bedingungen in jedem andern verdunkelten Raume. —

An einem noch frischen Ochsenauge lassen sich diese Bilder wirklich beobachten, wenn man den hinteren Theil der weissen, Netzhaut, welche den Augapfel umschliesst, bis auf die halbtransparente Netzhaut ablöst, und diese dann von der hintern Seite betrachtet. Die Bilder erscheinen jedoch dem gesunden Auge nicht verwaschen sondern mit scharfen Umrissen, aus welchem Grunde, der erst später erläutert werden kann, der Einfluss auf die Lage und das Grössenverhältniss der Bilder keinen Einfluss hat.

Die Netzhaut ist die hautartige Erweiterung eines Nstrangs, des Sehnerven, der vom Gehirn ausgehend Augenhöhle eindringt, die harte Haut des Augapfels durchse dann im Innern sich als Netzhaut ausbreitet. Durch Vern dieser für jeden Eindruck von Aussen überaus empfindlich venverzweigung kommt die Empfindung des Lichts zu u Bewusstsein.

Der Gesamteindruck der äusseren Gegenstände Netzhaut ist zwar für einen vom Auge getrennten Beobach eines verkleinerten, verkehrt stehenden Bildes. Aber unser durch die Erfahrung gebildet, versetzt jeden Eindruck, den eignen Auge empfangen, von dem Punkte aus, an weld gefühlt wird, durch den Durchkreuzungspunct der Strahle Aussen und zu der Stelle, von wo er abstammt. Es übert Wirkung auf deren Ursache; deren Dasein dadurch gle selbst zum Bewusstsein kommt. Daher empfinden wir niel den Bildern auf unserer Netzhaut, sondern wir seh Gegenstände ausserhalb des Auges und in der Tiefe des R wir sehen sie nicht verkehrt, sondern jeden Punct in der R des von ihm zum Auge gesendeten Strahlenkegels (gen der Richtung des Hauptstrahls, welcher, wie wir späte werden, der einzige ist, der innerhalb des Auges unverä der geraden Linie fortschreitet).

Jeder Druck der die Netzhaut erreicht, wird als Licht e den. Drückt man z. B. mit dem Finger in der Nähe der wurzel gegen die Augenhöhle, so hat man alsbald eine l scheinung. Die Gewohnheit, die Ursache eines Lichteindru dem Auge zu suchen, ist aber so mächtig, dass man auch sem Falle das Licht nicht an der Stelle, wo der Finger di haut drückt, sondern gerade auf der entgegengesetze wahrzunehmen glaubt.

515. Alle äusseren Gegenstände sind auf der Netzh Flächen dargestellt; alle, die näheren wie die entfernter in ihren Bildern auf der Netzhaut nebeneinander und be einen Theil derselben. Das Grössenverhältniss dieser Bil zeichnet die scheinbare Grösse der Gegenstände od mehr die ihrer auf eine Kugeloberfläche, deren Mittelpu Auge liegt, projecirten Oberflächen.

Gesichtswinkel nennt man den Winkel, welche Umgränzungspuncte eines Körpers mit dem Kreuzung der Hauptstrahlen als Scheitelpunct bilden. Zwei Körper, in ungleichem Abstände vom Auge befinden, haben gleiche bare Grösse, wenn ihre Gesichtswinkel gleich sind.

Man denke sich vor dem Auge eine Kugelfläche, v

spunct als Mittelpunct, mit beliebigem Halbmesser gedreht, dann von diesem Mittelpuncte aus gerade Linien wirklichen Umgränzungen eines entfernten Gegenstandes zweiten, eines dritten u. s. w. Die durch diese Linien auf gelber Fläche gebildeten Figuren entsprechen den Bildern auf der Netzhaut.

wirkliche Inhalt einer leuchtenden Fläche heisse A , und von der Pupille D , so ist ihre scheinbare Grösse

Man findet die wirkliche Flächengrösse eines Gegenstandes, indem man die scheinbare mit dem Quadrate des Abstandes dividirt.

Eindruck, welchen diejenigen Gegenstände auf uns machen, wenn wir von einem bestimmten Abstand zu beurtheilen uns der Massstab oder die Vergleichsgröße fehlt, wie Sonne, Mond, entfernte Gebäude, ist stets der wirklichen Grösse. Bei ganz nahe liegenden Körpern durchtrifft uns Gewohnheit und Urtheil mehr und mehr unabhängig von dem Grössenverhältnisse ihrer Bilder und wir erkennen sie in ihren natürlichen Dimensionen.

Von dem Lichte, welches die Oberfläche der Körper trifft, wird ein Theil stets ein mehr oder weniger grosser Theil zurückgeworfen, ein anderer Theil dringt in die Masse der Körper ein und verliert dann in den einen spurlos (undurchsichtige Körper), ein anderer Theil wird von andern in grösserem oder geringerem Verhältnisse durchgelassen wird (durchsichtige Körper).

Zurückwerfung des Lichtes. (Katoptrik). — Zurückwerfung (Reflexion) geschieht nach Gesetzen, denen der Zurückwerfung elastischer Körper aufsgewöhnt sind übereinstimmen. Man erkennt diess am deutlichsten, wenn man im dunklen Zimmer einen Körper mit ebener, sehr glatter (polirter) Oberfläche, den durch eine enge Oeffnung einfallende Strahlen der Sonne oder einer argantischen Lampe entleuchtet.

Die spiegelnde Fläche sei bis auf eine einzige kleine Stelle mit einem weissen Papier belegt. Man denke sich auf diesem spiegelnden Papier ein Loth ab (Fig. 250) und durch dasselbe in beliebiger Höhe eine Ebene gelegt. Befindet sich nun der Lichtpunct s irgendwo

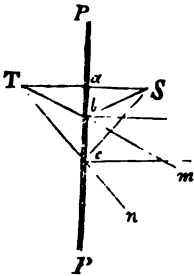
in dieser Ebene, so ist auch der von a zurückgeworfene Strahlenbündel in derselben enthalten, und zwar nimmt der zurückgeworfene Strahl at einen solchen Weg, dass Winkel $tab = sab$. Der zurückgeworfene Lichtstrahl liegt also in der Ebene, welche der einfallende mit der Normale bildet (in der Einfallsebene), und der Winkel den er mit der



Normale einschliesst (der Ausfallswinkel) ist dem Einfallswinkel gleich.

Nach diesem Gesetze lassen sich die Wege bestimmen, welche verschiedene, von einem leuchtenden Punkte ausgesendeten Strahlen, nach der Zurückwerfung von einer ebenen, gut polirten Fläche nehmen müssen. Es bezeichne PP (Fig. 251) die spiegelnde Ebene; b und c seien die Einfallspuncte von dem Punkte S ausgehenden Lichtstrahlen, so werden diese durch Reflexion

Fig. 251.



die Richtungen bm und cn erhalten. Man verlängere diese Linien bis zu ihrem Durchschneidungspunct T und ziehe ST . Nun sind die Dreiecke Sbc und Tbc gleich, weil sie die Linie bc gemeinschaftlich haben und sowohl die beiden bei c wie die bei b anliegenden Winkel gleich sind. Es ist also $Sb = Tb$. Daraus folgt weiter, dass auch die Dreiecke Sab und Tab einander gleich sind. Es ist daher $Sa = Ta$ und die Linie ST steht senkrecht auf der Spiegelfläche. Dieselbe Betrachtung gilt für alle andern Strahlen, die von S aus den Spiegel treffen. Alle diese Strahlen bekommen daher durch die Reflexion eine solche Richtung, als kämen sie von einem Punkte T her, eben so weit hinter der Spiegelfläche liegend, als S sich vor derselben befindet. So erklärt es sich, dass scheinbar hinter dem Spiegel ein leuchtender Punct T , nämlich das Bild des Punctes S sichtbar wird.

Angenommen die Breite des Spiegels beschränke sich auf die Linie bc (Fig. 251), so lehrt das vorgetragene Reflexionsgesetz, dass das Spiegelbild des Punctes S nur von demjenigen Auge wahrgenommen werden kann, welches sich in der Winkelöffnung mTn befindet. Da jede Aenderung in der Lage der Spiegelfläche eine geänderte Stellung des Lothes ST nach sich zieht, so begreift es sich, dass durch die geringste Verrückung des Spiegels auch das Bild verrückt werden muss.

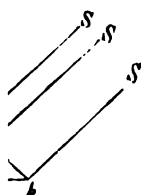
Körper mit rauher Oberfläche sind aus zahllosen sehr kleinen Flächenstückchen zusammengesetzt, welche in mannichfacher Weise gegen die Hauptrichtung geneigt sind und daher dem Auge eines jeden leuchtenden Punctes eben so mannichfaltige Stellungen anweisen müssen. Die ursprünglich von einem einzigen Punkte ausfliessenden Strahlen werden dadurch so zerstreut, wie wenn sie von unzähligen Puncten abstammten. Der Eindruck der Lichtquelle verwischt sich und jeder reflectirende Punct erscheint als selbstständiger Lichtpunct. Die Sichtbarkeit dunkler Körper beruht hiernach nur auf den Unebenheiten ihrer Oberflächen, vermöge der sie die einfallenden Lichtstrahlen zerstreuen. Eine vollkommen spiegelnde Fläche würde, weil sie alle einfallende Strahlen in unveränderter Ordnung wieder zurückwirft, also Bilder der vor ihr befindlichen Gegenstände erscheinen lässt, selbst nicht sichtbar sein können. Unsere besten Spiegel sind indessen nicht frei von Unebenheiten und zerstreuen daher einen Theil des Lichtes von dem sie getroffen werden. — Körper mit vorhergehend ebener Oberfläche, wie glattes Papier, matt geschliffenes Glas, spiegeln im schief einfallenden Lichte, weil bei dieser Neigung der einfallenden Strahlen vorzugsweise nur

Sinne der Hauptrichtung reflectirten zum Auge gelangen

3. Dunkle Flächen empfangen von einer gegebenen Lichtlinie um so grössere Lichtmenge, je mehr sie den einfallenden senkrecht entgegengestellt werden. Im Allgemeinen sich die Stärke der Beleuchtung wie der Sinus des Winkels, den die Lichtstrahlen mit der von ihnen beleuchteten Fläche

Linien bS , cS , dS (Fig. 252) mögen die Richtung der Sonnenstrahlen bezeichnen. Eine Fläche $ab = db$ nimmt offenbar einen möglichst grossen Bündel davon auf, wenn sie von denselben, wie in der Lage ab senkrecht getroffen wird. In einer beliebigen anderen Lage ab steht die Menge des wirklich einfallenden Lichtes zu derjenigen Menge, welche bei der günstigsten Lage einfallen könnte, im Verhältniss der Linien, cb zu bd . Dieses Verhältniss ist aber gerade das, welches Sinus des Neigungswinkels cab genannt wird. — Anwendung auf die Kraft der Sonnenstrahlen zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten, so wie unter verschiedenen Breiten.

Fig. 252.



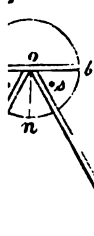
3. Bei gleicher Neigung zweier Flächen gegen die Lichtwird diejenige am stärksten beleuchtet, welche der Lichtm nächsten steht; und zwar verändert sich die Lichtwir von einer Fläche zur andern, umgekehrt wie die Quadrate ihrer Abstände von dem Ausgangspuncte der Strahlen.



Die von einem leuchtenden Punkte S (Fig. 253) ausgesendeten Strahlen bilden einen Kegel, dessen Basis zwar in jedem Abstände eine gleiche Lichtmenge erhält; da aber der Flächeninhalt der Basis im Verhältniss zum Quadrat des Abstandes wächst, so muss die Lichtmenge auf die Flächeneinheit in demselben Verhältnisse ab-

Die Richtigkeit dieses Gesetzes, durch ein Experiment anschaulich zu machen, kann man sich des Photometers (Lichtmessers) von Rumfort bedienen.

Fig. 254



Ein kreisrundes Tischchen, am Rande mit einer Theilung versehen, ruht auf Schraubfüssen, um es horizontal stellen zu können. Auf demselben steht senkrecht ein mit weissem Papier bekleidetes Brett ab (Fig. 254), das um eine über den Mittelpunct o des Tischchens senkrecht sich erhebende Achse drehbar ist, und so auf einen beliebigen Grad der Theilung eingestellt werden kann. Von derselben Achse, gleichsam als verlängerte Radien, laufen in horizontaler Richtung die beweglichen Arme op und oq aus. Sie sind mit einer beliebigen Längentheilung versehen, und jeder trägt einen sehr leicht verschlebbaren Schlitten,

dessen obere wagerechte Fläche noch überdies eine Verschiebung in rechter Richtung gestattet und hinlänglichen Raum bietet, um eine oder andere Lichtquelle darauf aufstellen zu können. Die Arme go werden so eingestellt, dass sie mit der Normale oa gleiche bilden. Dann bringt man auf jeden Schlitten eine argantische Lampe, die deren Flammen auf gleiche horizontale Höhe und in gleichem Abstand vom Punkte o . Beide Flammen sammt ihren Glaseschorstein mit hohen Blechcylindern umgeben, welche das Licht nur durch eine kleine, viereckige Oeffnung unmittelbar vor der Flamme durchlassen erhält dadurch gleichsam zwei viereckige Lichtflächen (von etwas geringem Umfang als die Flamme), die ihre Strahlen aus gleicher Entfernung und in gleicher Neigung gegen die weisse Papierfläche werfen. Bei nahe vor dem Brettchen, stehen auf dem Tischchen zwei Säulen aus schwarzgefärbtem Holze, die bis zur Höhe der Lichtflächen aufsteigen, folglich auf dem Papier zwei beschattete Streifen dicht nebeneinander entstehen müssen. Der von der einen Lampe abhängige Schatten wird von der Flamme der andern Lampe beleuchtet; beide Schatten können daher man sie von einem in der Verlängerung der senkrechten Linie oa gelegenen Standorte aus betrachtet, nur dann gleich dunkel erscheinen, wenn die beiden Flammen gleiche Lichtmengen aussenden. Da nun beide dunkle Stellen leicht so gerichtet werden können, dass sie unmittelbar an einander stoßen, so lässt sich der Punct gleicher Dunkelheit, oder beziehungsweise gleicher Leuchtkraft der Flammen, durch geeignetes Verrücken der Leuchte bald und mit Sicherheit erfassen.

Schiebt man hierauf die eine Lampe auf die Hälfte ihres anfänglichen Abstandes vom Punkte o , so wird man finden, dass $\frac{1}{4}$ der viereckigen Fläche geschlossen werden müssen, um beide Schatten wieder gleich zu machen. Also $\frac{1}{4}$ der Lichtfläche in dem Abstände $\frac{1}{2}$ macht eben so viel als die vierfache Lichtfläche aus doppelter Entfernung.

Angenommen Winkel poq sei 60° , man drehe das Brett ab so, dass es senkrecht darauf steht, der Neigungswinkel des andern Armes og gegen die Papierfläche wird dann nur 30° betragen. Gesetzt diese Lampe war vorher von beiden Lampen aus gleichem Abstände gleich stark beleuchtet worden, so wird man die Lichtfläche der auf dem Arme og befindlichen nunmehr zur Hälfte bedecken müssen, um beide Schatten wieder gleich zu machen. Es ist aber bekanntlich $\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$.

Mit Hilfe des Photometers kann man die Stärke verschiedener Lichtquellen vergleichen. Gesetzt, auf dem einen Arme werde eine argantische Lampe, die während einiger Stunden sehr gleichmässig hell macht, in einem bestimmten Abstände aufgestellt; auf den andern Arm bringt man nach einander verschiedene Lichtquellen in solche Abstände, dass die auf dem Papier geworfenen Schatten jedesmal genau gleich werden, so müssen die Stärken dieser Lichtquellen verhalten, umgekehrt wie die Quadrate der Abstände, von welchen aus sie die weisse Fläche ab gleich stark beleuchteten.

So sind z. B. die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Resultate erhalten worden.

	Verbrauch stündlich.	Abstand, für gleiche Helligkeit.	Anzahl	Relativer Verbrauch an Brennstoff für gleiche Leuchtkraft.
Wollaston'sche Lampe mit doppel- lichtzug) . . .	32 Grm.	100	1	1
mit flachem und Glas- stein . . .	15,4 „	69	2,1	1,01
Wollaston'sche Lampe e (Achter) .	3,4 „	26	14,9	1,55
5 auf's Pfund, e . . .	7 „	33,6	9	1,97
7 . . .	8,6 „	36,7	7,4	2
7ze (Achter)	7,7 „	30	11,1	2,67
(Sechster)	11,7 „	37	7,3	2,67

ist des Rumford'schen Photometers lassen sich mit einiger Genauigkeit solche Lichtquellen vergleichen, deren Farbe gleich oder sehr wenig verschieden ist, denn das Auge, so empfindlich es ist, erkennt die geringsten Unterschiede im Grade der Helligkeit neben einander gleichmäßig beleuchteter, gleichfarbiger Flächen, verliert doch sogleich die Fähigkeit, sobald zwei nebeneinander liegende Streifen Schattenstreifen ungleiche Farbe haben.

Die Unvollkommenheit theilt die auf gleichem Principe beruhende Methode von Potter und nachher Ritchie getroffen haben und die Methode, zwei neben einander in derselben Ebene liegende Streifen von Papier oder von mattem Glase von der hinteren Seite, jeden aber von einer andern Lichtquelle zu beleuchten und letztere so lange zu verstellen, bis beide Streifen, von der vorderen Seite betrachtet gleich hell

erscheinen, ist zur Messung der Lichtstärke (Photometrie) noch verschiedene Mittel benutzt oder zur Benutzung vorgeschlagen. Dahin gehören: Wollaston's Photometer zur Vergleichung des Lichts der Sonne und der Sterne (Pogg. Ann. 16. 328); Lampadius Photometer (Schweigger's Journal für die Physik, Bd. VII. 484); De Maistre's Quetelet's und Arago's Photometer (Pogg. Ann. 29. 186); Humboldt's Astrometer (Pogg. Ann. 484); Talbot's Photometer, welchem das Prinzip zu Grunde liegt, dass durch rasche Umdrehung einer kleinen Lichtfläche im Auge gebildete Bilder verglichen mit dem Bilde der ruhenden Lichtquelle, deren Lichtstärke geringere Lichtstärke besitzt, als sein Umfange die Breite der Lichtfläche übertrifft (Pogg Ann. 35. 457).

Wollaston ist die Lichtstärke der Sonnenstrahlen gleich der Lichtstärke von 5560 Wachskerzen, welche sich in nur 1 Fuss Abstand von der Sonne befinden. Die Lichtstärke des Vollmondes dagegen beträgt $\frac{1}{144}$ von derjenigen einer Kerze bei 1 Fuss Entfernung. Ferner ist die leuchtende Kraft des Sirius 20,000 Millionen mal schwächer als die der Sonne.

Die Lichtstärke, welche die einzelnen Punkte einer Fläche entfalten, nennt man ihren Glanz. Sind alle Punkte der Fläche einer Lichtquelle gleich glänzend, so verhält

sich ihre Leuchtkraft wie die Grösse ihrer Oberfläche m mit dem Glanze. Die leuchtende Kraft ist ausserdem n die Erfahrung lehrt, von der Neigung der Lichtfläche g ausfallenden Strahlen abhängig.

Es sei z. B. ab (Fig. 255) die Richtung der Lichtfläche bS diejenige eines Strahlencylinders, so wird die Licht

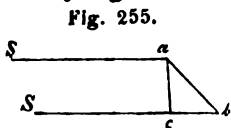


Fig. 255.

in dieser Richtung gerade so g wie die einer Lichtfläche ac von Glanze, welche auf der Richtung c len senkrecht steht. D. h. die Le der Lichtquelle verhält sich zu

chengrösse wie $\frac{ac}{ab} = \sin. abc$. Dass dem so sei,

man daraus, weil eine gleichmässig glühende Kugel aus fernung betrachtet, ganz den Eindruck einer glühenden von überall gleichem Glanze hervorbringt, und weil sich auch die Sonne verhält.

Die Helligkeit, welche durch eine beliebige Lichtquelle einer weissen, den Strahlen senkrecht entgegengestellten

hervorgebracht wird, entspricht demnach dem Ausdrucke

wo J den Glanz, F den Flächeninhalt, D den Abstand der quelle und α den Neigungswinkel gegen die ausfallenden vorstellt.

551. Geschwindigkeit des Lichtes. — Das Licht jeder andere Bewegungseffect, gebraucht Zeit zu seinem schreiten. Diese Zeit, obschon für jede irdische Erscheinung ausserordentlich gering, ist doch durch Beobachtung des Himmelsraum mit grosser Schärfe gemessen worden; zuerst von dem dänischen Astronomen Römer im Jahre 1676.

Der Planet Jupiter hat bekanntlich 4 Trabanten, von denen einer in dem kurzen Zeitraume von wenig mehr als einem Tage eine Umdrehung vollendet. Dabei muss er jedesmal den Schatten seines Planeten gehen. Weil er nun während der Zeit des Durchgangs verfinstert ist, lässt sich der Zeitpunkt des Eintritts in den Schatten, so wie der seines Austritts aus demselben ganz genau wahrnehmen.

Die Erde, während gewisser Perioden ihrer Umdrehung um die Sonne, erhält ihren Abstand vom Jupiter im Laufe der Stunden fast unverändert, zu andern Zeiten dagegen ändert sich oder nähert sich diesem Himmelskörper fast in gerader Linie. Nun hatte Römer bemerkt, dass die Verfinsterungszeiten der Jupiters-Trabanten bei diesen drei verschiedenen Beobachtungsrichtungen der Erde scheinbar nicht gleich blieben. Er schloss sich die Erde von dem Jupiter, so dauerte die Fi

inbar länger, näherte sie sich ihm, so schien der Moment des ritts früher einzutreten, als wenn beide Planeten während Dauer einer Verfinsternung ihren Abstand nicht verändert hätten. Diese Unterschiede sind zwar sehr gering, aber sie wieder sich von einer Umdrehung des Jupiters-Trabanten zur an- und sammeln sich so während des Uebergangs der aus der grössten Jupiters - Nähe zur grössten Jupiters- , d. h. während des Zeitraumes von ungefähr einem halben o zu einer vollen Viertelstunde, um welche die von dem letzten Standpunkte der Erde beobachtete Eintrittszeit der Finstern- gegen die für denselben Standpunkt berechnete Zeit zurück- t. Römer schloss hieraus, dass das vom Jupiter zurückge- fene Sonnenlicht so viel Zeit braucht, um eine Länge, gleich Durchmesser der Erdbahn, zu durchlaufen. Er berechnete hier- die Geschwindigkeit des Lichtes zu 41918 geographischen en.

Dieses Resultat erhielt 50 Jahre später eine sehr wichtige Bestätigung die von Bradley beobachtete Abirrung (Aberration) des Lichtes. versteht hierunter die Thatsache, dass die Fixsterne alljährlich kleine ken am Himmelsgewölbe zu beschreiben scheinen, deren grösste Axe len gleich ist und eine Länge von 40,5 Sekunden einnimmt, deren ste Axe aber, je nach der Neigung der Sterne gegen die Ebene der ihn, verschieden ist. Diese scheinbaren Bewegungen erklären sich d- , dass die Geschwindigkeit der Erde einen nicht ganz unbeträchtlichen uheil von der des Lichtes ausmacht. — Die Linie ab (Fig. 256) be- we einen Bogen der Erdbahn, Sc einen Lichtstrahl. Dieser sollte seiner Richtung nach den Punct b der Erde treffen. Da er aber Zeit bedarf um den Weg cb zurückzulegen, so wird er, wenn die Erde in derselben Zeit den Weg ab beschreift, dieselbe nicht im Puncte b sondern in a erreichen. Es sel ac die Axe eines cylindrischen Rohrs (eines Fernrohrs) und der Lichtstrahl Sc sei eben im Axenpunct c am Eingang des Rohrs angekommen. Nach Verlauf der Hälfte der Zeit, die er braucht, um den Weg cb zurückzulegen, wird er sich in d befinden. Dieselbe Stelle hat aber unterdessen auch den Punct e , vermöge der Bewegung der Erde, erreicht. Der Strahl befindet sich also noch immer in der Axe des Rohrs. Da nun eben so der Fusspunct a des Rohrs gleich- zeitig mit dem Strahle in b ankommt, so sieht man jetzt leicht, dass letzterer, während er den Weg cb zurücklegt,



immernd in der Axe des Rohrs verweilt, mithin für den Beobachter, n Auge sich am Puncte a befindet, sich ganz so verhält, als verfolge n Weg ac , der mit der wahren Richtung des Lichtes den Winkel acb , Abirrungs - Winkel, bildet. Dieser scheinbare Weg des Lichtes zu dem scheinbaren Orte (s) des Sterns von welchem es herkommt. in die Richtung der Bewegung der Erde während ihres Umlaufs um die sich fortdauernd ändert, so muss auch der Punct s seine Stelle sein und alljährlich einen Umlauf um den wahren Ort S des Sterns be- stellen. Der Abirrungswinkel ist am grössten, wenn ein Lichtstrahl er Erdbahn senkrecht steht; sein Bogen beträgt dann 20,45 Sekunden, ch die Hälfte von der grossen Axe der scheinbaren elliptischen Bahn. Bogen Ss (Fig. 256) verhält sich nun zu dem Halbmesser $Sc = 1$ (Himmelskugel, wie die Geschwindigkeit ab der Erde, zur Geschwindig-

keit bc des Lichtes. Letztere wird also gefunden, indem man die Dichtigkeit der Erde durch den Abirrungsbogen, in Theilen seines Halbkreisbogens ausgedrückt, dividirt. Auf diesem Wege wurde die Zahl von 415 erhalten, welche mit der aus den Finsternissen der Trabanten deducirten Zahl sehr nahe übereinstimmt. Hierdurch ist bewiesen nur dass das Licht für seine Fortpflanzung Zeit braucht, sondern dass das Licht der Sonne und der Fixsterne gleiche Geschwindigkeit besitzt. Den Weg von der Sonne zur Erde legt das Licht in $8'13''$, vom Monde zur Erde in etwas mehr als einer Sekunde zurück. Vom nächsten Fixsterne zur Erde braucht es 10 Jahre.

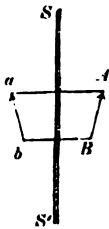
Mittelst einer sinnreichen Anordnung ist es vor Kurzem gelungen, die Geschwindigkeit des irdischen Lichtes zu messen, welche von der des Sternenlichtes nicht abweichend. Pogg. (A. S. 167).

551. Spiegelbilder. — Die Bestimmung der Spiegelbilder, d. h. die Bezeichnung derjenigen Punkte, durch welche die von verschiedenen Punkten eines Gegenstandes ausgehenden Strahlen, nach der Zurückwerfung von einer spiegelglatten Fläche herzukommen scheinen, ist durch die Kenntniss des Reflexionsgesetzes (No. 547) eigentlich zu einer Aufgabe der Geometrie zurückgeführt.

Die Lösung derselben wird sehr einfach bei den ebenen Spiegeln. Man zieht von jedem Punkte des Gegenstandes (Fig. 257) eine Senkrechte gegen die Spiegelebene oder ihre Verlängerung und misst von derselben hinter dem Spiegel ein gleich großes Stück ab, als der betreffende Punkt sich vor dem Spiegel befindet.

Das Spiegelbild ist dem Gegenstande symmetrisch gegenüber der Spiegelebene. Würde sich in ab an der Stelle des Bildes ein wirklicher Gegenstand, so würden die von demselben aus durch die Spiegelebene SS' fallenden Strahlen hinsichtlich der Reflexion, welche sie nehmen, sich genau so verhalten, wie die vom Gegenstande AB ausgehenden Strahlen nach der Reflexion von der Spiegelebene SS' . Man sieht leicht, dass das Bild an allen Bewegungen des Gegenstandes Theil nehmen muss, dass es in einem recht stehenden Spiegel die natürliche Lage des Gegenstandes wiedergibt, und dass es denselben in gleicher Lage des Spiegels in verkehrter Lage erscheinen lässt. —

Fig. 257



Spiegelbilder im Wasser. — Bewegt sich der Spiegel selbst parallel, so legt das Bild in gleichem Sinne den doppelten Weg zurück. Dreht sich der Spiegel um eine Axe die in der Spiegelebene genommen ist, so beschreibt jeder Punkt des Gegenstandes um demselben Drehpunkte aus, den doppelten Bogen.

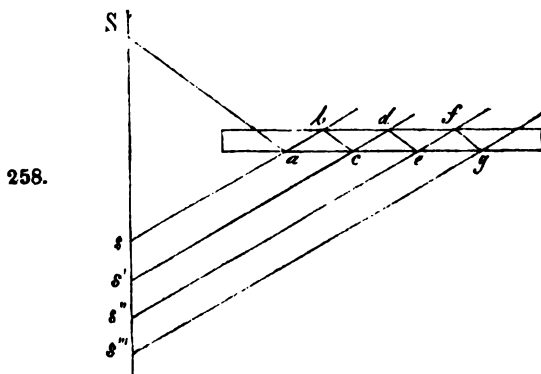
Vervielfachung der Bilder durch Parallel-Spiegel und Kugelspiegel (Kaleidoscop). Die Vervielfachung wird dadurch bewiesen



inem Spiegel reflectirten Strahlen von einem zweiten, auf welchen abermals reflectirt werden. Die Spiegelbilder verhalten sich zu spiegeln gleichsam wie wirkliche Gegenstände. Die wiederholten bilden jedoch bald sehr merklich an Lichtstärke ab.

Glänzendsten Bilder geben spiegelnde Metalle, insbesondere Silber (Silber), weil sie das Licht am vollständigsten zurückwerfen. Gewöhnlich wählt man zu Metallspiegeln eine Legirung von zwei Theilen Zinn und ein Theil Zinn, welche eine grau weisse Farbe hat und eine Politur annimmt. Auch schwarzes undurchsichtiges Glas gibt ein wenig glänzendes Bild.

Die gewöhnlichen Glasspiegel sind eigentlich Quecksilberspiegel. Da die Metallbelegung sich an der hintern Glasfläche befindet und ein Lichtes schon von der Vorderfläche zurückgeworfen wird, so erzeugen zwei Bilder, von welchen sich das eine, glänzendere, um die doppelte Dicke des Glases hinter dem andern befindet. Wegen dieses geringen Abstandes der Bilder decken sie sich, so lange der Ausfallswinkel des Lichtes gering ist, und sind daher nur bei sehr geneigter Lage der Leuchte wahrnehmbar. Sehr glänzende Leuchten, wie die Sonne oder die Kerzenflamme bilden in Glasspiegeln bei schief einfallendem Licht eine ganze Reihe Bilder von allmählig abnehmender Intensität, von denen das eine um die doppelte Glasdicke hinter dem andern liegt, bis es so schwach ist, weil der bei *a* (Fig. 258) von der Quecksilberfläche zum



reflectirte Strahl, bei seinem Austritte aus dem Glase bei *b* theilweise eine zweite Reflexion, dann bei *c* eine dritte, bei *d* eine vierte erleidet.

Die in dieser Vervielfachung des Bildes sind die gewöhnlichen Glasspiegel für manchen optischen Zwecken nicht brauchbar.

Spiegel bilden den wesentlichen Bestandtheil mehrerer wichtiger optischer und geodätischer Instrumente. Dahin gehören der Heliostat, den man gebraucht, um den Sonnenstrahlen mit Hilfe eines durch ein gedrehten Spiegels eine unveränderliche Richtung zu geben (Gehler's Buch n. S. V. 239. Pogg. Ann. XVII. 71; LXXII. 432); das Refractometer (Gehl. W. n. B. V. 1027); der Heliotrop (Gehl. W. V. 246); der Spiegelsextant (Gehl. W. n. B. VIII. 781).

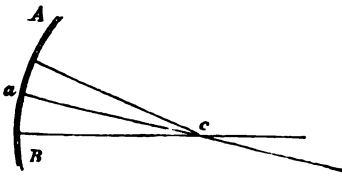
Jedes Flächenelement eines gekrümmten Spiegels reflectirt einen einfallenden Lichtstrahl ganz so, wie wenn die

Zurückwerfung von der das Element berührenden Ebene.

Die für ebne Spiegel geltenden Reflexionsgesetze las daher auch auf krumme Flächen anwenden, sobald nur da ihrer Krümmung bekannt ist, d. h. sobald man für jeden \angle Neigung seiner Berührungsebene zu bestimmen die Mittel ergibt sich aus der Eigenthümlichkeit der Kugelgestalt, vom Mittelpuncte einer Kugel ausgehenden Lichtstrahlen Reflexion von der Kugelfläche in den Mittelpunct zurück ebenso aus der Natur der parabolischen Krümmung, dass der Axe eines Paraboloids gleichlaufende Strahlen in puncte zusammentreffen, und dass umgekehrt die von puncte auslaufenden Strahlen durch die Reflexion eine mit parallele Richtung erhalten.

Eine grosse Mannigfaltigkeit des Verhaltens bieten d rischen Hohlspiegel. Wenn ein Kreisbogen AB (

Fig. 259.

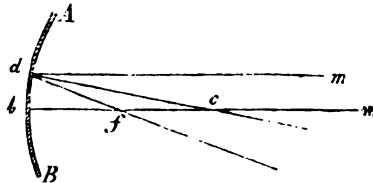


dem der Kreismittelpunct gehört, um den Radius a Bogen AB halbirt, um \angle gedreht wird, so bildet \angle zugehörte Fläche, wie einen Abschnitt einer Kugel fläche. Ist die hohle Seite so gestalteten Fläche \angle

so hat man einen Hohlspiegel, ist es die erhabne (convex so hat man einen Convex-Spiegel. Der Punct a ist der punct seiner Fläche, der Punct c sein Krümmungsmittelpunct. Linie ac seine Hauptaxe. Jede andere durch c gelegte Spiegel treffende Linie heisst Nebenaxe. Wir betrachten nächst den sphärischen Hohlspiegel, und zwar genügt es, halten nur eines einzigen durch die Mitte a gehenden eines Durchmessers der Spiegel fläche, zu untersuchen, \angle für diesen gilt, lässt sich, wie aus der Construction her mit gleichem Rechte auf den ganzen Spiegel anwenden.

Es sei AB (Fig. 260) dieser sehr klein gewählt

Fig. 260.



Vor demselben befinde sich ein leuchtender Punct m , in \angle Ferne, dass die von demselben auf den Spiegel fallenden

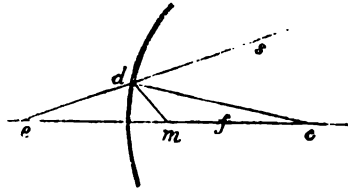
parallel angesehen werden dürfen. Einer dieser Strahlen mcb , nach den Krümmungsmittelpunct, also in der Richtung der des Punctes m geht, wird in derselben Linie zurückgeworfen. nennt ihn den Hauptstrahl. Jeder andere Strahl wird durch Reflexion so geleitet, dass er die Axe mb durchschneiden. Es sei z. B. d der Einfallspunct eines Strahls md , derselbe nach df reflectirt, so dass Winkel $mde = cdf$, und durchlet die Axe im Puncte f . Nun ist Winkel $fdc = mcd =$ folglich $df = fc$. Es ist ferner $df + fc$ grösser als bc , in allen Fällen fd grösser als bf . Es nähert sich aber fd dem von bf um so mehr, einen je kleineren Bruchtheil der Bock von dem Radius bc ausmacht. Für ein sehr kleines Bock kann man daher $bf = df = fc$ setzen. Bildet der ganze l, so wie angenommen wurde, nur ein sehr kleines Seg- er dem Radius bc entsprechenden Kugeloberfläche, so er- ch, dass alle der Axe mb parallel laufende Strahlen, welche iegel reflectirt werden, im Puncte f der Axe zusammen- nüssen *). Der Punct f wird Brennpunct der Axe mb t. In ähnlicher Weise hat jede andere Axe einen Brenn- der in der Mitte des entsprechenden Radius liegt. Der ptaxe zugehörige Brennpunct, welcher die Eigenschaft hat, us einem entlegenen Puncte der Hauptaxe selbst ausflies- Strahlenbündel zu sammeln, wird Hauptbrennpunct t. Sein Abstand von der Mitte des Spiegels heisst dessen weite.

Wenn die Entfernung eines leuchtenden Punctes so gross t, dass seine Strahlen als parallel angesehen werden kön- vereinigen sie sich zwar nicht in dem Brennpuncte; aber destoweniger müssen sie ihre Axe schneiden und zwar bei her vorausgesetzten Beschaffenheit des Spiegels ziemlich in einem Puncte, der von f aus sich dem Krümmungsmittel- c um so mehr nähert, je mehr der leuchtende Punct m ge-

Die Gränzen innerhalb welcher diese Voraussetzung Geltung hat, sich schärfer aus folgender Betrachtung: Es ist $\frac{1}{2} dc = fc \cdot \cos$ her $fc = \frac{dc}{2} \times \frac{1}{\cos dcf}$. Nur diejenigen Strahlen für welche inus des Einfallswinkels fast mit der Einheit verwechselt werden erden sich im Brennpuncte vereinigen. Bei zunehmender Grösse des winkels eines Strahls, rückt sein Durchschnittspunct mit der Axe le Spiegelfläche, und schneidet folglich die Richtung eines andern in n Ebene, aber der Axe näher liegenden reflectirten Strahls, bevor en Brennpunct erreichen konnte. Diese Durchschnittspuncte benach- strahlen bilden vor dem Spiegel eine eigenthümlich gekrümmte Fläche, nfläche (kaustische Fläche) in welcher eine grössere Licht- terracht als in der Umgebung und von der der Brennpunct die glän- Stelle ausmacht. Jede durch den Brennpunct geführte Durchschnitts- : Brennfläche heisst Brennlinie (kaustische Linie).

gen den Mittelpunkt heranrückt. Alle von diesem Punkte ausgehende Strahlen fließen nach der Reflexion zu ihrer (zurück. Befindet sich der leuchtende Punkt an irgend einer zwischen f und c , so vereinigen sich die reflectirten Strahlen stets des Mittelpuncts, und zwar um so weiter von diesem fern, je näher der leuchtende Punkt selbst dem Brennpuncte Die von letzterem ausfallenden Strahlen werden parallel mit Axe reflectirt. — Man sieht leicht, dass diese Fälle die umgekehrten der vorhergehenden sind; der leuchtende Punkt und sein Bild haben gleichsam nur ihre Stelle gewechselt. Befindet sich der leuchtende Punkt m (Fig. 261) zwischen Brennpunct und Spiegelfläche, so bleiben die vom Spiegel reflectirten Strahlen divergent, jedoch weniger als vor der Reflexion. Es hat daher der Schein als kämen sie von einem Punkte e hinter dem Sp

Fig. 261.



her, der in der verlängerten Axe und von der Spiegelfläche so weiter entfernt liegt, je mehr der leuchtende Punkt gegen Brennpunct rückt.

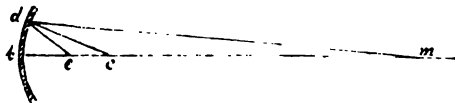
Alle diese Verhältnisse lassen sich in folgender allgemeiner Bezeichnung zusammenfassen. Es ist Winkel

$$\begin{aligned} m\hat{d}c &= c\hat{d}e = i \\ m\hat{d} : m\hat{c} &= \sin.c : \sin.i \\ d\hat{e} : c\hat{e} &= \sin.c : \sin.i. \end{aligned}$$

Daher auch

$$m\hat{d} : m\hat{c} = d\hat{e} : c\hat{e};$$

Fig. 262.



Ist nun der Spiegel ein sehr kleines Segment der Kugelfläche, so kann $mb = mb$ und $ed = be$ gesetzt werden. Man erhält demnach, wenn d der Abstand cb mit r , der Abstand mb des leuchtenden Punktes mit l , und d der Abstand be des Vereinigungspunctes der Strahlen von der Spiegelfläche bezeichnet wird:

$$l : l - r = f : r - f; \quad (1)$$

und hieraus:

$$lr = (2l - r) f;$$

Indem durch lrf dividirt wird:

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{r} - \frac{1}{l}; \quad (11)$$

dieser einfachen Gleichung sind alle Veränderungen ausgedrückt, ein Lichtkegel von sehr kleiner Winkelöffnung durch die Reflexion am sphärischen Hohlspiegel, durch dessen Krümmungsmittelpunct Hauptstrahl (Axenstrahl) geht, erfahren kann. Ist z. B. die Entfernung Ausgangspunctes der Strahlen sehr weit entlegen, also $\frac{1}{l}$ fast Null;

so ist sich $f = \frac{r}{2}$. Für $l = r$ findet man auch $f = r$; für $l = \frac{r}{2}$

in unendlicher Ferne. Setzt man l kleiner als $\frac{r}{2}$ so wird für f negativer Werth erhalten, d. h. der Vereinigungspunct der Strahlen (51) liegt hinter dem Spiegel, ist also nicht reel sondern nur virtuel. Im Allgemeinen findet man, wenn $l = nr$ gesetzt wird:

$$f = \frac{nr}{2n - 1}.$$

Nenn man von den verschiedenen Punkten eines Gegenstandes o Linien durch den Krümmungsmittelpunct des Spiegels c ziehet, so stellt jede dieser Linien eine Axe an entsprechenden Punkten jeder Axe vereinigen sich die o in eben dieser Axe gelegenen leuchtenden Punkte ausstrahlenden Strahlen. Indem sie dann wieder auseinandergehen, bilden sie in dem Auge des Beobachters ganz den Eindruck in der Luft schwebenden Bildes des Gegenstandes. Befindet sich o jenseits des Krümmungsmittelpunctes, z. B. in der Entfernung mn (Fig. 263) so erzeugt er ein Luftbild st zwischen Brennpunct und Krümmungsmittelpunct, das man auf einem weissen Schirm auf matt geschliffenem Glase auffangen kann. Es erscheint umgekehrt und, weil es in der Winkelöffnung scf liegen muss, verkleinert.

Wird ein Gegenstand zwischen Krümmungsmittelpunct und Brennpunct

Fig. 263.

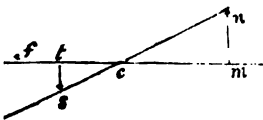
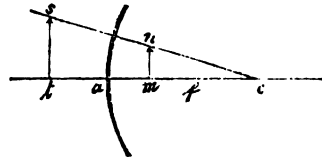


Fig. 264.



stellt, so zeigt sich sein Bild jenseits des Krümmungsmittelpunctes, vergrößert und aufrecht.

Gegenstände, welche wie mn (Fig. 264) zwischen Brennpunct und Krümmungsmittelpunct stehen, erzeugen ein virtuelles, aufrechtes und vergrößertes Bild st .

punct und Spiegel gebracht werden, geben ebenfalls vergrößerte Bilder, die aber, wie bei ebenen Spiegeln, hinter dem Spiegel liegen scheinen und aufrecht stehen.

Um das Grössenverhältniss des Bildes zum Gegenstande zu bestim-
men hat man nur zu bemerken, dass ihre linearen Dimensionen sich ver-
halten wie ct zu cm (Fig. 263 u. 264). Nun ist $ct = r - f$; $cm = l - r$
nach Gleichung (1); $r - f : l - r = f : l$. Die lineare Dimension des
Bildes verhält sich also zu der des Gegenstandes, ungefähr wie die Entf-
erung des Bildes vom Spiegel zur Entfernung des Gegenstandes vom Spiegel.

Um das Reflexionsgesetz für convexe sphärische Spiegel zu finden
man nur in Gleichung (1) r negativ zu setzen.

Man erhält dann:

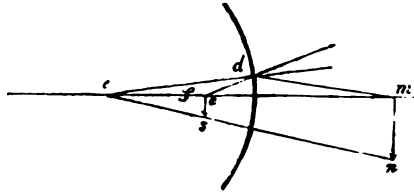
$$\frac{1}{f} = - \left(\frac{2}{r} + \frac{1}{l} \right)$$

oder

$$f = - \frac{lr}{2l + r}$$

Man erkennt leicht, dass die von einem beliebigen Punkte m (Fig.)
ausgehenden Strahlen so reflectirt werden, als kämen sie von einem
Puncte c hinter dem Spiegel her, der in derselben Axe zwischen Brennpunct

Fig. 265.



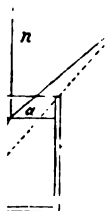
Spiegelfläche liegt. Das Bild eines Gegenstandes mm' vor dem Spiegel
scheint also in allen Fällen hinter dem Spiegel, es ist verkleinert und
recht stehend.

Auf der Anwendung des Grundgesetzes der Reflexion auf cylindrische
und conische Spiegel, beruhen die katoptrischen Zerrbilder oder Anisomorphosen.

553. Lichtbrechung in nicht krystallisirten Körpern (Dioptrik). Viele Körper besitzen die Eigenschaft, einen Theil des eindringenden Lichtes durchzulassen; sie sind durchsichtig. Uebergänge aus einem Mittel in das andere wird das Licht wöhnlich von der früheren Richtung abgelenkt. Nur in dem einzigen Falle behält es dieselbe bei; dann nämlich, wenn der einfallende Strahl auf der Gränzfläche beider Mittel senkrecht steht.

Durch eine Wasserschicht oder durch eine dicke Glasscheibe betrachtet, zeigt sich ein Gegenstand g (Fig. 266) nur da, wo er sich wirklich befindet, wenn sich das Auge in der die Glasscheibe senkrecht durchschneidenden Linie go befindet.

ndern Lage des Auges erscheinen die Gegenstände ver- und zwar um so mehr, je grösser der Winkel ist, der auf der Gränzfläche ankommende Strahl mit dem g. 266.



Lothe bildet. Ein Geldstück g auf dem Boden einer Schaaale liegend, welches von dem in o' befindlichen Auge, so lange das Gefäss kein Wasser enthält, nicht erblickt wird, wird sogleich sichtbar, wenn man Wasser eingiesst. Es erscheint aber jetzt nicht mehr in g , wo es sich wirklich befindet, sondern nach g' verrückt, nämlich in der verlängerten Linie des ausfallenden und von seiner anfänglichen Richtung abgelenkten Lichtstrahls ao' .

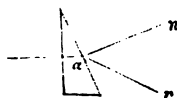
gan gleiche Weise verhält sich eine kleine Papierdie man auf der untern Fläche einer dicken Glasplatte hat.

on a nach o abgelenkte Strahl heisst der gebrochene und die Ebene, welche er mit dem Einfallslothe bildet, hnungsebene, der Winkel, welchen der gebrochene dem Lothe an einschliesst, ist der Brechungs-

Richtung des gebrochenen Strahls ist von der ersich, bezogen auf den einfallenden Strahl, gegengesetzter Seite des Einfallslothes befindet seine Brechungsebene mit der Einfallsebene fällt.

isse durch eine enge Oeffnung einen Bündel paralleler ental gerichteter Lichtstrahlen in ein verdunkeltes Zim- und stelle denselben ein dreiseitiges Glasprisma so dass sie auf der Vorderfläche desselben senkrecht auf- ter ungebrochen eindringen und erst an der Hinter- n Austritte in die Luft eine Ablenkung erfahren (siehe Aus den beleuchteten Staubtheilchen in der Luft, er-

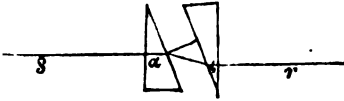
Fig. 267.



kennt man leicht den Weg, welchen das Licht nimmt und überzeugt sich sogleich, dass der gebrochene Strahl ar in der Einfallsebene bleibt, deren Richtung hier durch die Basis des Prisma's gegeben ist. Dreht man diesen einfallenden Strahl sa als Axe, so dreht sich gebrochene Strahl, und beschreibt die Oberfläche eines dessen Scheitelpunct durch den Einfallspunct a gege-

Wenn man dem bei a (Fig. 268) ausfallenden Lichtstrahl ein zweites Prisma von gleichem Winkel, aber in umgekehrter Lage darbietet, so dass beide sich zu einem vierseitigen

Fig. 268.



Prisma ergänzen, so dass der Strahl, nachdem er die frühere Richtung d. h. der aus dem Prisma ausfallende s läuft mit dem in das erste Prisma einfallenden s parallel. Es geht hervor, dass die Brechung beim Austritt in Luft, gerade die umgekehrte ist, von der beim Eintritt von Luft in Glas. Der Einfallswinkel an der Fläche von Glas in Luft sei a , der Brechungswinkel b , so dass auf der Gränzfläche von Luft in Glas mit dem Winkel b einfallende Licht, einen Brechungswinkel a erhalten.

Dieselbe Erscheinung bietet sich unter gleichen Umständen zwischen beliebigen andern durchsichtigen Körpern. Die allgemeine Regel: durch ein von parallelen Flächen gränztes durchsichtiges Mittel geht das Licht gebrochen. So z. B. durch die Fensterscheiben, durch Luft durch hohle, leere Glascylinder.

Wenn ein Lichtstrahl aus einem dünneren in ein dichteres Mittel, wie aus Luft in Glas oder Wasser übergeht, so nähert sich der gebrochene Strahl dem Einfallslothe; er wird dem Loth gebrochen. Bei der umgekehrten Bewegung, beim Uebergang von Glas in Luft, entfernt er sich vom Lothe. Diese Regel ist unbedingt richtig, wenn das dichtere Mittel mit dem dünneren gleiche chemische Beschaffenheit hat, wie Luft von ungleichem Dichtigkeitsgrad; sie erleidet aber häufige Ausnahmen, wenn es um chemisch verschiedenartige Körper handelt. Man pflegt jene Mittel, in welchem der eindringende Strahl dem Luftstrahl gebrochen wird, das stärker brechende zu nennen. Gemeinlich sind also die dichteren Körper die stärker brechenden. Weingeist, Aether, Schwefelstoff, flüchtige Oele und hauptsächlich brennbare Körper bilden Ausnahmen von dieser Regel.

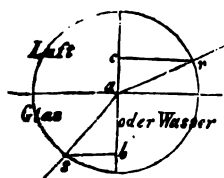
Bei zunehmender Grösse des Einfallswinkels wächst auch der Brechungswinkel. Beide sind immer in einer solchen Beziehung zu einander, dass die Neigung gegen die brechende Fläche des einfallenden Strahls s a haben mag, das Verhältniss d

in sb und cr (Fig. 269) einen unveränderlichen Werth annimmt. Es ist aber $sb = sa \sin. a$, $sb = r \sin. a$ und $rc = ra \sin. b$, $rc = r \sin. b$.

Daher

$$\frac{sb}{rc} = \frac{r \sin. a}{r \sin. b} = \frac{\sin. a}{\sin. b} = n$$

Fig. 269.

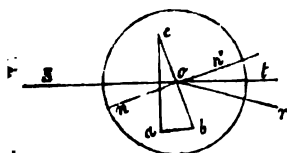


Der Sinus des Einfallswinkels dividirt durch den Sinus des Brechungswinkels ist eine unveränderliche Zahl, solange das brechende Mittel keine Aenderung erfährt.

Dieses merkwürdige Gesetz ist von dem Niederländer Snellius entdeckt, aber erst viel später von Descartes bekannt gemacht worden.

Beispiel: Ein kleiner Tisch, auf welchem ein getheilter Kreis aufgestellt ist, werde im verdunkelten Zimmer, in der Nähe eines Ladens so gestellt, dass die durch einen schmalen Spalt eindringenden, mittelst des kostats wagerecht geleiteten Sonnenstrahlen, durch den Mittelpunkt o (Fig. 270) des wagerecht gestellten Theilkreises gehen. Man setze dann

Fig. 270.



auf das Tischchen ein dreiseitiges Prisma abc , aus Glas oder einem andern durchsichtigen Mittel gebildet, so dass das Licht auf der einen Seite senkrecht einfällt und dass die brechende Fläche cb durch den Mittelpunkt des Kreises geht. Bei dieser Anordnung ist, wie man leicht sieht, der Einfallswinkel soa gleich dem Prisma - Winkel c , und der Brechungswinkel ron' um den Winkel rot größer als c . Den Ablenkungsbogen rot findet man aber unmittelbar durch Lösung des Gradpunctes, an welchem der abgelenkte Strahl den getheilten Kreis schneidet.

Das Prisma sei gewöhnliches Spiegelglas, $c = 20^\circ$, so gibt der Versuch, $r = 11^\circ 37'$; daher der Brechungswinkel $b = 20^\circ + 11^\circ 37' = 31^\circ 37'$. Man so findet man für $c = 30^\circ$; $for = 20^\circ$; folglich $b = 50^\circ$.

Nun ist:

$$\frac{\sin. 31^\circ 37'}{\sin. 20^\circ} = \frac{0,52430}{0,34202} = 1,533$$

$$\frac{\sin. 50^\circ}{\sin. 30^\circ} = \frac{0,76650}{0,50000} = 1,533.$$

Der Sinus des Brechungswinkels dividirt durch den Sinus des Einfallswinkels liefert in beiden Fällen dieselbe Zahl. Eben dieses Resultat rde ein Glasprisma von anderer Neigung der Seitenflächen gegeben sein.

Die Zahl 1,533 oder genähert $\frac{3}{2}$, welche für Glas das Verhältniss der beiden Sinusse, d. i. das Brechungsverhältnis

niss ausdrückt, nennt man den Brechungs-Exponent des Glases. Jedes Mittel hat, bezogen auf Luft, seinen eigenthümlichen Brechungs-Exponenten. So ist der des Wassers $\frac{4}{3}$.

Kennt man den Brechungsexponenten eines Mittels, so man im Stande die Richtung des gebrochenen Strahls in Rechnung im Voraus zu bestimmen. Beim Uebergang aus Luft in Glas wird der Brechungswinkel (b) kleiner als der Einfallswinkel (a), und man ersieht nun aus der Gleichung $\frac{\sin. a}{\sin. b} = n$, dass einem jeden Einfallswinkel bis zur Gränze $a = 90^\circ$ Brechungswinkel entspricht.

Das Licht erleidet bei jedem Uebergange aus einem Mittel in ein anderes eine theilweise Reflexion, die bei senkrechtem Einfall am kleinsten ist und mit der Grösse des Einfallswinkels zunimmt. Aber so lange dieser Winkel auch nur im geringsten 90° bleibt, tritt stets ein beträchtlicher Theil des Lichtes aus in ein dichteres Mittel, z. B. in Glas, ein.

Wenn das Licht die Gränzfläche eines dichteren Mittels in Luft durchschreitet, entfernt sich der gebrochene Strahl vom Lot. Jetzt ist also für Glas $\frac{\sin a}{\sin b} = \frac{1}{1,533}$. Beträgt der Einfallswinkel $40^\circ 43'$, so findet man $b = 90^\circ$; d. h. der gebrochene Strahl läuft längs der Brechungsebene hin. Wird a grösser als $40^\circ 43'$ kann demnach das Licht die Glasfläche gar nicht mehr durchdringen. In der That lehrt die Erfahrung, dass alles Licht, dessen Einfallswinkel auf der Uebergangsoberfläche von Glas zu Luft mehr als $40^\circ 43'$ beträgt, vollständig (total), übrigens nach den gewöhnlichen Gesetzen reflectirt wird.

In einem rechtwinkligen, gleichschenkligen Prisma (Fig. 271) jeder der beiden Winkel a und b , 45° . Setzt man ein solches Glas

Fig. 271.

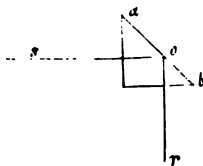
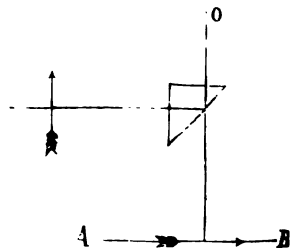


Fig. 272.



auf das Tischchen (Fig. 271), so dass die durch den Spalt im Lot durchdringende Lichtlinie so die Hinterfläche ab mit einem Winkel von 45°

nter gleichem Winkel nach or abgelenkt, ohne dass nur eine it bei o ausfallen kann. Die Fläche ab des Prisma's erhält das Ansehen eines Metallspiegels von grösster Vollkommenman einem kleinen Prisma der Art die in Fig. 272 angedeutete hält das eine Auge darüber in dem Abstände der deutlichen einer weissen Papier-Fläche AB unter dem Prisma, so erf dem Papiere die Bilder aller vorliegenden Gegenstände in nrisen, dass sie sich mittelst eines in der Hand gehaltenen s andere Auge betrachteten Stiftes nachzeichnen lassen. Ein ecke besonders gefasstes und an geeignetem Träger befestigtst camera lucida.

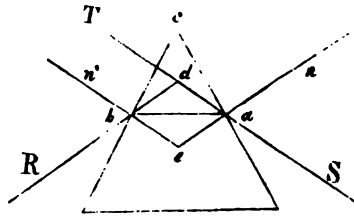
strahlen, die an der Gränze von Wasser zu Luft ankommen, Reflexion ein, sobald der Einfallswinkel mehr als $48^{\circ}28'$, beiegel des Wassers in einem Glase erscheint daher, in schiefere unten betrachtet, wie eine polirte Metallplatte, und eingestände spiegeln sich darin mit vollkommenster Schärfe ab. — usser getauchtes, unten geschlossenes, übrigens leeres Glaswenn man es von oben anblickt, durch die totale Reflexion der Innenwand des Glases ganz das Ansehen, als wäre es er gefüllt. Diese Wirkung einer sehr vollkommenen Spiegelung aber, so wie man Wasser in das Rohr giesst. — Sehen unter n Oberfläche sich in Ruhe befindet. — Luftspiegelungen (fata wirkt durch totale Reflexion beim Uebergang des Lichtes aus ünnere, z. B. stärker erwärmte Luftschichten. Häufig beruhen ungen auch auf der Refraction der Lichtstrahlen in ungleich ftschichten, und können in diesem Falle nicht eigentlich Spieint werden (Gehler, neue Bearb. VIII. 1155).

Brechung, welche die Lichtstrahlen beim Eindringen in den serer Erde erfahren, erscheinen alle Himmelskörper, mit einere derjenigen, die sich gerade im Zenith befinden, aus ihrer , um so mehr, je näher sie dem Horizonte stehen. In Folge ten Brechungen beim Uebergange aus dünneren in dichtere müssen die aus dem Himmelsraume kommenden Strahlen in re krumme Linien beschreiben, welche ihre Höhlung der Erdschren; und da wir einen Stern stets in der Richtung sehen, : von ihm ausgehende Strahl das Auge trifft, so kommt es, einbare Lage immer etwas höher ist, als seine wirkliche. Da g bei zunehmender Grösse des Einfallswinkels nothwendig en muss, so äussert sie auf die dem Horizont nahen Himmelsirksten Einfluss. Sie ist die Ursache, dass wir die Sonne schon vor ihrem eigentlichen astronomischen Aufgange erblicken, uns noch eine kurze Zeit sichtbar bleibt, nachdem sie bereits izont gesunken ist. — Dieser Einfluss der atmosphärischen ng macht sich schon bei dem von hohen Bergen ausgehenden , und darf bei geometrischen Höhenmessungen nicht unbeelien.

ptische Prismen. — In der Sprache der Optik wird ichtige Mittel, welches von zwei ebenen, beliebig gereneigten Flächen begränzt ist, ein Prisma genannt. welchen die beiden Flächen einschliessen, heisst der Winkel, und jeder durch die Winkelkaute senkrecht Iso der Basis des Prisma's gleichlaufender Durchauptschnitt.

Es sei aCb (Fig. 273) ein Hauptschnitt eines Prismas; ein in der Ebne desselben schief einfallender Lichtstrahl; er beim Durchgang durch das Prisma an beiden brechenden Flächen in gleichem Sinne und zwar von der Winkelspitze C abgebe. Es sei z. B. $SabR$ der Weg, den er verfolgen muss. Man hat Winkel $San = a$; $bae = b$; $abe = b'$ und $Rbn' = a'$. Die Ablenkung bei der ersten Brechung ist $dab = a - b$; bei

Fig. 273.



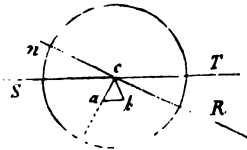
zweiten Brechung $dba = a' - b'$. Beide Ablenkungen zusammen geben den ganzen Ablenkungswinkel

$$TdR = D = a - b + a' - b' = (a + a') - (b + b')$$

Es ist ferner der Prisma - Winkel $bCa = eab + eba$ auch; $C = b + b'$; (1) folglich $D = a + a' - C$; (2).

Man stelle ein optisches Prisma auf den oben erwähnten kleinen Tisch, so dass die Winkelspitze fast über den Mittelpunkt des Theilkreises zu stehen kommt (Fig. 274).

Fig. 274.



Man wird finden, dass einfallende Lichtstrahl Sc bei Drehung des Prismas eine andere Ablenkung erfährt, dass aber für eine gewisse Stellung des letzteren der Ablenkungswinkel einen kleinsten Wert annimmt.

Angenommen, bei einem Prisma von Spiegelglas, das Winkel 34° beträgt, habe sich die kleinste Ablenkung bei Einfallswinkel $Scn = 27^\circ$ gezeigt. Der Ablenkungswinkel wird dann 20° betragen. Diese Werthe in die vorher entwickelte Gleichung (2) gesetzt; wird erhalten $20 = 27 + a' - 34$ hieraus $a' = 27$. D. h. es ist $a = a'$ und folglich auch $b = b'$. Dieses Resultat gilt nun, wie aus einer Vergleichung der Brechungsgesetze mit dem der Sinusse, ganz allgemein angewandt werden kann, in gleicher Weise für jeden andern brechenden Körper und jeden andern durchsichtigen Stoff. D. h. so bald die Ablenkung des gebrochenen Strahls ihren kleinsten Werth erreicht hat, ist der Winkel, welchen der einfallende Lichtstrahl mit

fläche des Prismas bildet, demjenigen gleich, mit welchem interfläche wieder verlässt.

den Fall der kleinsten Ablenkung ist demnach $C = 2b = 2a - C$, woraus dann weiter hervorgeht:

$$b = \frac{C}{2}; a = \frac{D + C}{2}.$$

aus fließt eine sehr einfache Regel, den Brechungsindex eines beliebigen durchsichtigen Mittels zu be-

stimmen. Man bildet aus demselben ein Prisma, misst den Ablenkungswinkel, dann denjenigen der kleinsten Ablenkung und setzt:

$$n = \frac{\sin. \frac{D + C}{2}}{\sin. \frac{C}{2}}$$

275.

Um den kleinsten Ablenkungswinkel genau zu messen, kann man folgendes Verfahren einschlagen. Vor dem Objectivglase des Fernrohrs eines Theodoliths wird an dem Gehäuse des Fernrohrs selbst ein kleiner Träger befestigt, geeignet, das zu prüfende Prisma darauf aufstellen und mittelst einer Mikrometerschraube richten zu können. Man richtet nun das Fadenkreuz des Fernrohrs direkt gegen einen weit entfernten ungefähr in der Ebne des Theilkreises liegenden Lichtpunkt S (Fig. 275), bringt dann das Prisma vor das Objectivglas und sucht durch Drehung sowohl des Fernrohrs, wie des Prismas auf seinem Träger, es dahin zu bringen, dass der gebrochne Strahl, bei seiner kleinsten Ablenkung, durch die Axe des Fernrohrs abermals zum Auge gelangt. Der Winkel $o c R$, um welchen das Rohr gedreht werden musste ist, wie leicht einzusehen, der Ablenkungswinkel des Strahls.

Auch der Winkel des Prismas kann mit grosser Schärfe auf optischem Wege bestimmt werden, z. B. mittelst des Reflexionsgoniometers oder auch mit Hilfe eines horizontalen Theilkreises, etwa dem des Theodoliths.

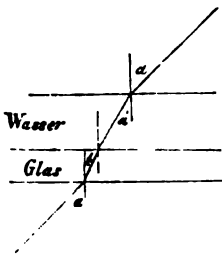


untersucht, deren Eigenschaft das Licht zu brechen, untersucht wer- füllt man in prismatische Behälter, deren Wände aus Glasplatten parallel geschliffenen Oberflächen bestehen. Das Behälter besteht ebenfalls aus einer Glasplatte, $\frac{1}{2}$ Zoll dick, 2 Zoll breit und so, dass eine Oeffnung von belläufig 1 Zoll Weite gebildet wird. Man lässt man zu einem Prisma schleifen und schliesst die von der Oeffnung zur andern gehende Oeffnung mit zwei Plaugläsern. Der Behälter wird dann durch ein vom Rücken des Prismas eingehendes Glas angefüllt. Die Gase, deren Brechbarkeit sehr verschieden ist, füllt man in Hohlprismen mit sehr stumpfen Winkeln, um dadurch den Ablenkungswinkel so auffallend wie möglich zu machen, ein. Die innere

Höhlung muss ausserdem mit einem Barometer, und wenn die Brecht bei verschiedener Dichte untersucht werden soll, mit einem Verdicht apparatus in Verbindung gesetzt werden können (Pogg. Ann. VI. 393; traité III. 222; auch Gehl. Wört. n. B. I. 1140). Macht man den in Raum ganz luftleer, so ergibt sich das Brechungsverhältniss für da dem leeren Raum in Luft übergehende Licht Dasselbe ist durch die 1,000294 ausgedrückt. Das Brechungsverhältniss verschiedenartiger ist ungleich. Bei jedem einzelnen vermehrt es sich mit der Dichtigkeit zwar ganz unabhängig von der Temperatur, insofern diese die Dicht unverändert lässt.

555. Da bei dem vorher beschriebenen Messverfahren untersuchten brechenden Mittel stets von Luft umgeben sind beziehen sich die gefundenen Brechungsexponenten nur auf Uebergang aus Luft in diese Mittel. Den Brechungsexponenten zwischen irgend zweien verschiedenartigen Mitteln, z. B. Wasser in Glas findet man dann durch Division ihrer Exponenten

Fig 276.



zu Luft. Der Beweis beruht auf der Sache, dass beim Durchgange des Licht durch zwei ungleichartige, von parallelen Wänden begränzten Platten, der einfallende Strahl mit dem eingehenden gleichgerichtet ist.

Es sei z. B. mit Beziehung auf

$$276) \frac{\sin. a}{\sin. b} = n \text{ der Brechungsexponent}$$

aus Luft in Glas, also b der Einfallswinkel auf der Gränze von Glas in Wasser

und a' der Ausfallswinkel aus Wasser in Luft; bezeichnet man a' mit a' den Winkel, den der Strahl mit beiden Gränzflächen des Wassers bildet, so ist der Brechungsexponent aus Luft in Wasser $n' = \frac{\sin. a}{\sin. a'}$, daher der entsprechende Werth, beim Uebergang aus Wasser in Glas:

$$N = \frac{\sin. a'}{\sin. b} = \frac{\frac{\sin. a}{\sin. a'}}{\frac{\sin. a}{\sin. b}} = \frac{n}{n'}$$

Es ist z. B. für Spiegelglas $n = 1,533$; für Wasser $1,336$; daher aus Wasser in Glas $N = \frac{1,533}{1,336} = 1,147$.

Wegen der Veränderlichkeit der Luftbeschaffenheit ist es oft schenswerth, das Brechungsverhältniss eines Mittels auf den leeren Raum zu beziehen (N). Es wird bestimmt, indem man den Exponenten des Mittels bezogen zu Luft (n), mit dem Exponenten aus dem Raume in Luft (n') multiplicirt. Denn nach der vorhergehenden Re

$\frac{N}{N'}$, also $N = N' \cdot n$. Z. B. der Brechungsexponent des leeren Raumes Wasser ist:

$$1,336 \times 1,000294 = 1,3364.$$

556. Farbenzerstreuung (Dispersion). Man lasse ein sehr enges Spalt im Laden direktes Sonnenlicht in ein dunkeltes Zimmer fallen und fange dasselbe in einiger Entfernung vom Laden auf einem Papierschirm auf. Es wird sich auf letzteren ein weisser, glänzender Lichtstreif abbilden. Stellt man hierauf zwischen Spalt und Schirm, in den Weg der einfallenden Sonnenstrahlen, ein Prisma, seine brechende Kante gleichlaufend mit dem Spalte, so entsteht jenes farblose Bild nicht mehr, denn die nunmehr gebrochenen Strahlen ordnen sich zu einer gewissen Anzahl nebeneinander liegender gefärbter Streifen, welche auf dem Schirm die Figur eines Parallelogramms mit abgerundeten Enden darstellen, dessen Breite der Höhe des früheren farblosen Lichtstreifs gleichkommt, während es in der Richtung, winrecht gegen die brechende Kante des Prisma's sehr in die Höhe gezogen erscheint, um so mehr, je grösser die Ablenkung ist, welche das gebrochene Licht erfuhr. Man nennt diese daraus glänzende Lichterscheinung das Farbenbild (Spectrum).

Die einzelnen Farben des Spectrums verlaufen in einander sehr allmähliche Abstufungen. Zunächst derjenigen Stelle, welche das farblose Bild des ungebrochenen Lichtes einnahm, tritt sich ein sehr reines, glänzendes Roth, welches allmählig Orange und dieses wieder in Gelb übergeht; auf dieses folgt Grün, dann Hellblau, Dunkelblau und endlich Violet, das am entferntesten Rand des Farbenbildes einnimmt und eine sehr geringe Lichtstärke besitzt. Die grösste Helligkeit erreicht im Gelb; sie vermindert sich von hier aus nach beiden Seiten.

557. Aus der Erscheinung des Farbenbildes hat zuerst Newton die Folgerung gezogen, dass das farblose Licht der Sonne aus farbigen Strahlen zusammengesetzt sei, welche parallel neben einander her laufen und nur durch ihr Zusammenwirken den Eindruck von Weiss hervorbringen. Diese in ihrer Farbe verschiedenen Strahlen besitzen aber eine ungleiche Brechbarkeit. Lässt man daher einen farblosen Strahl durch ein Prisma gehen, so werden seine Bestandtheile getrennt und nach verschiedenen Richtungen zerstreut. Das rothe Licht ist das am wenigsten ablenkbare und erfährt darum auch die geringste Ablenkung. Die violetten Strahlen besitzen unter allen die stärkste Brechbarkeit; entfernen sich deshalb am weitesten von der Richtung des

farblosen Strahls. Diese Theorie wird durch das Verhalten d farbigen Strahlen aufs vollkommenste bestätigt.

Lässt man das Spectrum, erzeugt durch ein senkrecht henes Prisma, anstatt auf den Schirm, auf die Fläche eines r gerecht gestellten Prisma's fallen, so zeigt sich, wenn die Oel nung im Laden sehr enge war, keine neue Lichtzerstreuung; d vorher rothe Streifen bleibt roth, der grüne bleibt grün u. a. f. u zwar behalten alle dieselbe Länge und Breite wie früher. Nur hält das Bild eine verschobene Lage, die vorher horizontale Gränzlinien stellen sich schief und zwar vom Roth nach dem V let hin allmählig ansteigend. Es kann demnach nicht bezweif werden, dass die Brechbarkeit der Strahlen in demselben Sin zunimmt.

Befindet sich in dem Schirm, der das Spectrum aufnimmt, e kleine Oeffnung, z. B. an der Stelle, wo das grüne Licht erchei und werden die durch diese Oeffnung gehenden Strahlen v einem zweiten Schirm aufgefangen, so zeigt sich auf demselb ein Sonnenbild, aber von grüner Farbe.

Denselben Eindruck machen [die durch die kleine Oeffn dringenden Strahlen, wenn sie direkt zum Auge gelangen. Lä man sie auf ein zweites Prisma fallen, so werden sie zwar wie gebrochen, aber jetzt ohne die Farbe zu ändern. Das so weit gte Licht wird daher einfaches Licht genannt.

Wenn man das durch ein Prisma zerlegte Sonnenlicht in ringem Abstände (Fig. 277) auf ein zweites Prisma fallen l welches denselben brechenden Winkel besitzt, aber im umge

Fig. 277.



ten Sinne, d. h. so aufgestellt ist, dass die inneren und äusse brechenden Flächen beider Prismen parallel laufen, so werden n nach der ersten Brechung auseinander gehenden und daher farbigen gewordenen Strahlen durch die zweite Brechung wieder parallel gemacht, und geben auf einem Schirm aufgefangen d vollkommen farbloses Bild.

Die Vereinigung der Elementarfarben zu Weiss lässt m auch dadurch zeigen, dass man das Spectrum auf einem Be spiegel auffängt. Man erhält dann ein fast farbloses Luftbild d Lichtspaltes.

Auch durch den folgenden Versuch kann man beweisen, d die Farben des Spectrums in ihrem Gesamt-Eindrucke sich s Weiss ergänzen. Es ist bekannt, dass Lichteindrücke auf d

zthaut, selbst dann, wenn die erzeugende Ursache nicht mehr handen ist, noch eine kurze Zeit fühlbar bleiben und dass aus dem Grunde Einwirkungen, die mit einer gewissen Schnellig- der Folge immer dieselben Stellen der Netzhaut treffen, ganz Effect eines ununterbrochnen Lichteindrucks hervorbringen. z. B. glaubt man, wenn eine glühende Köhle, an einem Eisen- t befestigt, rasch in der Luft herum geschwungen wird, einen tenden Kreis zu sehen.

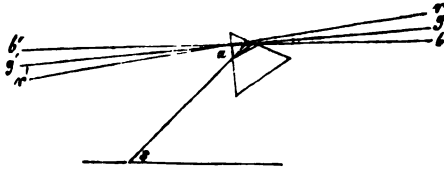
Eine kreisförmige mit schwarzem Papier überzogne Scheibe, welcher nur ein einziger Ausschnitt gefärbt, z. B. roth ange- ist, erscheint bei rascher Umdrehung über ihre ganze Ober- mit der Farbe bedeckt, welche nur ein einziger ihrer Aus- itte besitzt. War ein Ausschnitt blau, ein anderer gelb ange- worden, so erhält man den gemeinschaftlichen Eindruck er Farben, nämlich grün. Theilt man nun in ähnlicher Weise die ible in sieben Ausschnitte, trägt auf diese, so weit nur immer icht, die den sieben Hauptfarben des Spectrums entsprechen- Farbenabstufungen auf, und gibt man dabei jedem Aus- itte ungefähr dasjenige Grössenverhältniss, welches der Aus- ung seiner Farbe im Farbenbilde entspricht, nämlich dem 1 61°, dem Orange 34°, dem Gelb 54°, dem Grün 61°, dem blau 55°, dem Dunkelblau 34° und dem Violet 61°; dreht man die Scheibe schnell um ihre durch den Mittelpunct gehende rechte Axe, so erscheint sie weiss oder nimmt doch eine reinen Weiss um so näher kommende Farbe an, je ge- er man die Farben des Spectrums nachzuahmen verstanden e.

Bedeckt man die eine oder andere Farbe mit einem schwar- Blatte, so können sich die übrigen nicht mehr zu Weiss er- sen, sondern man erhält eine, je nach der Natur der ausge- lossenen Farbe, verschiedene Farbenmischung. So zum ieweile bewirkt der Ausschluss von Gelb eine violette, der Aus- lass von Orange eine blaue, der Ausschluss von Roth eine e Mischfarbe. Je zwei solcher Farbenmischungen, welche gemeinschaftlicher Einwirkung auf das Auge sich zu weiss nzen, nennt man complementäre Farben. (Gehl. Wörbt. t. IV. 86). Es ist einleuchtend, dass jede in der Natur vorkom- de Farbe ihre complementäre Farbe hat, oder anders gesagt, die von ihr ausgehenden farbigen Lichtstrahlen in Verbin- g mit gewissen anders gefärbten Strahlen, welche ihr fehlen, ss hervorbringen würden.

557. Man lege einen schmalen Abschnitt weisses Papier auf t-schwarzen Grund und betrachte denselben durch das Prisma, von dem Abschnitte auf das Prisma fallende weisse Licht,

durch Brechung in seine einfachen Bestandtheile zerlegt, wie weit es in das Auge eindringt, auf der Netzhaut rgb (Fig.

Fig. 278.



ein ähnliches Farbenbild erzeugen, wie die durch einen Spalt einfallenden und durch das Prisma gebrochenen Lichtstrahlen auf einem weissen Schirm. Weil wir aber gewohnt alle Lichteindrücke nach Aussen zu verlegen, so erblicken wir auf der Netzhaut wirklich abgebildeten blauen Lichtstreifen b , eher den am stärksten abgelenkten Lichtstrahlen entspricht in gelben Lichtstreifen g in g' , und eben so den rothen r in r' . Ein farbloses Papierstreifen s erscheint daher in farbige Streifen s und gehoben; die niedrigste Stellung nimmt der rothe Streifen der blaue oder eigentlich der violette zeigt sich am meisten seiner natürlichen Lage verrückt.

Wird ein schmaler Papierabschnitt der Länge nach Hälfte roth, zur andern Hälfte blau gefärbt, dann so auf dem Grund gebracht, dass die rothe Seite oberhalb der blauen liegen kommt; so erscheint, unter dem Prisma betrachtet, Blau gleichwohl über dem Roth. Befindet sich aber erstere wirklich oben, so zeigen sich beide Streifen durch einen schwarzen Zwischenraum getrennt.

Die natürlichen Farben der Körper sind in der Regel einfache Farben. Schmale Streifen derselben, auf dem Grunde unter dem Prisma angesehen, erscheinen daher fast in ein breiteres Farbenbild verwandelt; oder die zusammengesetzte Farbe wird in ihre einfachen Bestandtheile zerlegt.

Wird ein breiter Papierstreifen unter dem Prisma betrachtet so bemerkt man diese Verschiebung der einzelnen farbigen Streifen, aus welchen er gleichsam zusammengesetzt ist, nur an den Rändern; in der Mitte decken sich aber noch alle Farben zusammen daher den Eindruck der natürlichen Färbung des Papiers. Hieraus erklärt sich, warum die Grenzen ungleich gefärbter Körper erhalten, wenn sie durch das Prisma gesehen werden, Farben erhalten. Leicht wird man sich z. B. jetzt Rechenschaft geben können, warum an weissem Papier, auf dunklerem Grunde

er Seite der brechenden Prismakante, ein violetter und saum, an der andern Seite hingegen ein rother und gelber hervortritt.

ie weisse Fläche erscheint unter rother Beleuchtung roth, elber gelb, unter blauer blau; kurz, sie nimmt immer die er Strahlen an, von welchen sie getroffen wird, sie reflectstrahlen aller Art gleich gut.

e Folgerung liegt nahe, dass die natürlichen Farben der daher rühren, weil sie die verschiedenen Lichtsorten nicht gut zurückwerfen; dass z. B. eine grüne Fläche vorzugsgrünes Licht reflectirt, dagegen rothes durchlässt oder, was vöhnlichere ist, dasselbe verschluckt. In der That findet ess wenn das Spectrum auf einen gefärbten Schirm geworden, diejenige Farbe, welche der des Schirmes entspricht, iaftesten hervortritt. Auf einem indigoblauen Papier z. B. lie blauen Strahlen ein sehr volles Blau. Die grüne Farbe ich darauf schon viel weniger lebhaft und in den rothen n erscheint es fast schwarz. Diese letzten werden also ntheils verschluckt.

rchsichtige Körper, welche eine Farbe besitzen, verhalten wöhnlich gegen gleichgefärbte Lichtstrahlen, wie farbloses gen das weisse Licht. So gestattet rothes Glas vorzugslen rothen Strahlen den Durchgang, grünes den grünen. t man daher ein rothes Glas mit dem ihm complementären Glas, so wird fasst gar kein Licht mehr durchge-

3. Fraunhofer'sche Linien. — Das Spectrum auf er (No. 556) beschriebene Weise dargestellt, zeigt keine einen, einfachen Farben, so schmal auch der Spalt sein urch welchen man die Sonnenstrahlen einfallen lässt. Denn trahlen sind, vermöge der scheinbaren Grösse der Sonnen ($\frac{1}{2}$ Grad des Himmelsbogens), nicht ganz parallel; sie hinter dem Spalt keine Lichtlinie, sondern eine mit dem l an Breite zunehmende Lichtfläche; deren durch das erzeugte Farbenbilder mithin theilweise in einanderfallen b mischen müssen. — Hierzu kommt noch die meist unimene Klarheit des brechenden Mittels, wodurch eine unissige Zerstreuung des Lichtes herbeigeführt wird. Flüssismen zeigen diesen Uebelstand nicht. Unter den Gläsern sich am besten das bleihaltige Glas (Flintglas); doch au das Licht möglichst nahe an der brechenden Kante ssen, während der übrige Theil der brechenden Fläche best.

n leite einen durch den Spalt wagerecht einfallenden ndel im Abstände von wenigstens 10 — 15 Fuss gegen

die Kante eines Flintglas-Prismas und richte dieses auf das Centrum der Ablenkung. Das so erzeugte Farbenbild betrachte dann durch ein unmittelbar hinter dem Prisma aufgestelltes Fernrohr. Man wird die Farbenstreifen, getrennt durch grosse Anzahl, mit dem Spalt gleichlaufender dunkler, bald terer, bald weniger breiten Linien erblicken. Diese dunklen Linien im Spectrum sind im Jahre 1814 von Fraunhofer entdeckt worden. Es zeigen sich deren eine um so grösser je schmaler der Spalt, je stärker die brechende und zerstrahlende Kraft des Prismas, so wie die bewirkte Vergrösserung. Mit waffnetem Auge sind nur wenige der stärksten wahrnehmbar. Ihr Auftreten scheint darauf hinzuweisen, dass zwischen den verschiedenen Farbenabstufungen der Lichtstrahlen, was ihre Reinheit betrifft, keineswegs ein stetiger Uebergang statt findet. Eine Vorstellung, die überdiess noch durch die Thatsache bestätigt wird, dass sich ganz dieselben Linien zeigen, man nun das directe Sonnenlicht oder das indirecte des bewirkten Himmels oder auch das vom Monde oder den Planeten reflectirt benutzen; dass dagegen im gebrochenen Lichte der Sterne und anderer Lichtquellen auch andere Linien auftreten. Die Lage der dunklen Linien im Spectrum ist unabhängig von dem brechenden Winkel, und selbst der Stoff des Prismas, obwohl ihre gegenseitigen Abstände ändert, ist doch ohne Einfluss auf ihre Anzahl so wie auf die Art ihres Vorkommens in verschiedenen Theilen des Spectrums.

Fraunhofer unterschied gegen 600 Linien*), von welchen er mehrere besonders auffallende, in der Richtung von Violett gegen Roth mit den Buchstaben *A, B, C, D, E, F, G, H* bezeichnet (Fig. 5. Pl. V). Wegen ihrer völligen Unveränderlichkeit, und der Leichtigkeit sie zu erkennen, dienen sie als ungemein sichere Ausgangs- und Vergleichungspunkte bei der Bestimmung der Dispersionsexponenten.

Durch genaue Messung ihrer Winkelabstände in verschiedenen Mitteln, insbesondere in verschiedenen Sorten (Spiegel-) und Flint - Glas lieferte Fraunhofer überaus wichtige Data zur Construction achromatischer Fernröhren; die praktischen Optiker in den Stand gesetzt haben, achromatische Objective mit einer vordem unbekanntenen Sicherheit und Vollkommenheit zu verfertigen (Siehe Tab. XVII).

Im Farbenbilde des Lampenlichtes, das vor der Brechung durch einen engen Spalt gegangen war, lassen sich unmittelbar keine dunklen

*) Brewster, durch Anwendung sehr starker Vergrösserung mehr als 2000.

nehmen; hatte man aber ein mit salpetrigsaurem Gas gefülltes Glas in den Weg der Strahlen gestellt, so erblickt man alsbald hunderte dunklen Linien, welche bei vergrößerter Dicke oder auch durch Erwärmen der Gasschicht an Stärke zunehmen, bis endlich gar kein Licht mehr gelassen wird (Brewster^{*)}). Aehnliche dunkle Linien von grosser Zahl und Regelmässigkeit kann man durch Joddämpfe hervorbringen.

Brewster nehmen auch die dunklen Linien des Sonnenspectrums, dem Einflusse des salpetrigsauren Gases an Breite zu. Da er ausserdem bemerkt hatte, dass sie kurz vor dem Untergang der Sonne, wenn Strahlen die dickste Schicht der Atmosphäre durchdringen müssen, am schärfsten werden, so schliesst er, dass sie ihre Entstehung einer Licht absorbirenden Kraft der Atmosphäre zu verdanken haben.

Das Licht der meisten Lichtquellen wird durch das Prisma in ein mehr oder weniger vollkommenes Farbenbild zerlegt; doch kommen einige vor, die nur gleichartiges Licht ausstrahlen. So ist die Flamme des Kochsalz gesättigten Weingelstes homogen gelb. (Monochromatische Flamme^{**)}).

Brewster hat den Vorschlag gemacht, die Brechungsexponenten der dunklen Linien auf die dunklen Linien zu beziehen, welche das salpetrigsaure Gas im Farbenbilde der Lampenflamme bewirkt. Anwendung hat man hiervon, so weit bekannt, bis jetzt nicht gemacht. Insgemein bestrebt man sich mit der Bestimmung der Brechungsexponenten für die Strahlen mittlerer Brechbarkeit, und diese sind auch bei den Angaben auf Tafel XVIII, vorzugsweise gemeint. Bei den Gasen, deren Brechbarkeit an sich so gering ist, wird die Farbenzerstreuung gewöhnlich gar nicht wahrgenommen.

Das Brechungsverhältniss gasförmiger Körper wächst mit ihrer Dichtigkeit. Werden die bei verschiedenen Dichtigkeiten eines Gases bestimmten Brechungsexponenten zum Quadrat erhoben und die Einheit davon abgezogen, so erhält man, dass die so erhaltenen Ausdrücke den Dichtigkeiten proportional sind, oder dass jeder derselben durch die entsprechende Dichtigkeit dividirt dieselbe beständige Grösse gibt.

Wenn n den Brechungsexponenten eines beliebigen Mittels und δ seine Dichtigkeit bedeutet, so nennt man $n^2 - 1$ seine absolute brechende Kraft, und den Ausdruck $\frac{n^2 - 1}{\delta}$ sein specifisches Brechungsvermögen.

Aus dem Vorhergehenden leuchtet ein, dass das specifische Brechungsvermögen für jedes besondere Gas eine beständige und von seiner Dichtigkeit unabhängige Grösse ist. Ist es bekannt, so lässt sich daraus der Brechungsexponent für jede Dichtigkeitsveränderung des Gases ableiten.

So war es möglich die Brechungsexponenten der in Tafel XIX bezeichneten Gase auf die Temperatur von 0° und auf den mittleren Barometerdruck zu beziehen.

Die brechende Kraft gemengter Gase ist, wie Dulong bewiesen hat, dem Mittelwerth aus der Summe der brechenden Kräfte ihrer Bestandtheile (Pogg. Ann. VI. 405). Diese Regel gilt jedoch nicht für eine gasförmige Verbindung. Ueberhaupt ist es bis jetzt nicht gelungen, die Brechungsvermögen chemischer Verbindungen und dem ihrer Bestandtheile irgend allgemein geltende Beziehungen zu entdecken. — Bemerkenswerth ist das durchschnittlich grosse Brechungsvermögen brennender Stoffe, woraus bekanntlich schon Newton auf die Verbrennlichkeit des Diamants geschlossen hat. — Die brechende Kraft des Wassers wird

*) Pogg. Ann. XXXVIII. 50.

**) Pogg. Ann. II. 101.

durch Aufnahme von Zucker und Alkohol sehr bedeutend verändert hat diese Thatsache zu einem Verfahren benutzt, um aus dem Brechbarkeit des Lichtes in wässrigen Mischungen von Weis Zucker von verschiedener Concentration, z. B. in verschiedenen gleichzeitig bekannter Dichtigkeit der Mischung, ihren Gehalt und Alkohol abzuleiten. Eine hierzu erforderliche, aus Beobachtungen gerechnete Tabelle findet sich in den Denkschriften der Münchner Akademie aus dem Jahre 1843.

559. Achromatismus. — Die Brechbarkeit verschiedener farbiger Strahlen ändert sich von einem Mittel zum andern in proportionaler Weise. Die durch verschiedene Mittel, bei gleicher Ablenkung der mittleren Strahlen wirkten Farbenbilder haben deshalb weder in ihren Theilen noch im Ganzen einerlei Länge. Man lasse z. B. ein Wasserprisma, durch ein Crown-Glas-Prisma und ein Flintglas-Prisma bei gleicher mittlerer Ablenkung erzeugte Farbenbilder, auf dieselbe weisse Fläche unter einander fallen; wird sogleich sehr auffallende Unterschiede in den Dimensionen dieser drei Spectra wahrnehmen.

Eine sehr deutliche Anschauung dieses für die praktische Optik wichtigen Verhaltens gewinnt man durch aufmerksame Betrachtung der Tafel XVII. Einem Brechungsexponenten $n = 1$ entspricht die Null; man erkennt hieraus, dass die durch Brechung in einem Mittel bewirkte Ablenkung nicht wie der Brechungsexponent selbst, wie die Grösse seines Unterschiedes gegen die Einheit, wie $n - 1$ ändert sich der Exponent n um einen kleinen Werth, verändere sich dadurch in n' ; so kann man, ohne viel zu fehlen, annehmen, dass dem Unterschiede $n' - n$ erwachsende Aenderung der Ablenkung denselben Verhältnisse zu diesem Unterschiede stehe, wie die Ablenkung zu $n - 1$. Da die Unterschiede in der Brechbarkeit der

Linien in allen Fällen sehr gering sind, so gewährt der Quotient $\frac{n' - n}{n - 1}$ ein brauchbares Mittel, die Vermögen verschiedener Körper, farbige Linien zu zerstreuen, unter einander zu vergleichen. Man bezeichne die Linien B, E und H im Spectrum zugehörigen Brechungsexponenten n' , n'' ; so findet man z. B. für Flintglas von 3,723 spec. Gewicht $n' = 0,014$; $n'' - n = 0,043$; $n - 1 = 0,628$. Die ganze Länge des Farbenbildes zwischen B und H, bezogen auf die Einheit der Ablenkung, ist daher: $\frac{0,043}{0,628} = 0,06847$. Der Abstand von B bis H übertrifft also den Abstand von B bis E um mehr als das dreifache.

Für Crown-Glas von 2,535 spec. Gewicht ist $n' - n = 0,007$; $n - 1 = 0,526$. Die Länge des Spectrums zwischen den Linien B und H beträgt also in diesem Falle nur $\frac{0,019}{0,526} = 0,036$. Der Abstand von B bis H ist nur der $2\frac{1}{2}$ -fache von dem Abstand von B bis E.

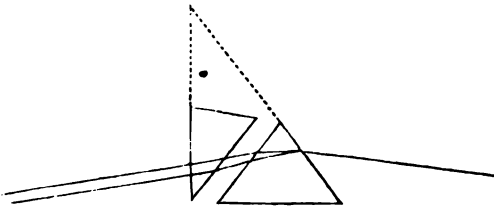
Die gleichfarbigen Strahlen befinden sich also in beiden Fällen nicht in proportionalen Abständen, und das Flintglas zerstreut Licht, bei gleicher Ablenkung fast noch einmal so stark als das Crown-Glas.

Ähnliche Verschiedenheiten bemerkt man bei andern Körpern.

es Zerstreuungsvermögen besitzen: der Diamant, die flüchtigen Oelarten, Phosphor, Metallsalze.

Wegen der grossen Verschiedenheit in der zerstreuen- den Crownglases und des Flintglases, müssen Prismen aus diesen Materialien, die Farbenbilder von gleicher Ausdehnung erzeugen, sehr ungleiche Winkelgrösse besitzen. Stellt man mehrere Prismen in der Art neben einander, dass sie in entgegengesetzten Richtungen brechen (Fig. 279), so wird die im ersten Prisma bewirkte Zerstreung oder divergierende Aus-

Fig. 279.



der farbigen Strahlen durch die gleich grosse aber entgegengesetzte Wirkung des Flintglas-Prisma's wieder aufgehoben. Die im ersten Prisma parallel einfallenden Strahlen verlassen das zweite Prisma ebenfalls in parallelen Richtungen und geben folglich ein scharfes Bild. Dieses Bild erscheint aber noch immer verschoben, weil die äussersten brechenden Flächen der Prismen noch denselben Winkel-Neigung gegen einander behalten. Ein System von Prismen, welches die Eigenschaft besitzt, die Lichtstrahlen wieder parallel zu machen ohne sie doch in Farben zu zerstreuen, nennt man ein achromatisches Prisma. Die Farbenzerstreung lässt sich jedoch auf dem beschriebenen Wege nicht ganz und gar aufheben, wie oben gezeigt wurde, die gleichgefärbten Strahlen werden durch verschiedene Mittel nicht in proportionaler Weise zerstreut. Werden z. B. die den Linien *B* und *H* im Spectrum entsprechenden Strahlen parallel gemacht, so kann dies nicht zu- gleich auch mit gleicher Schärfe mit den um die Linie *F* entsprechenden Strahlen der Fall sein. Aus diesem Grunde bleiben noch schwache Farbensäume (sekundäre Farbenbilder) zurück, die jedoch wenig auffallen und bei der praktischen Anwendung des Achromatismus von keinem sehr grossen Nachtheile

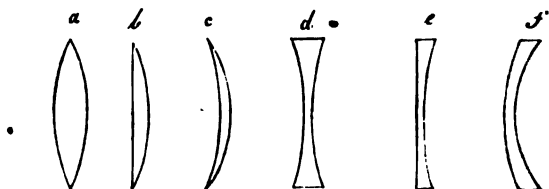
haben. Von dem Achromatismus die wichtigste Anwendung ist zur Ausführung von optischen Linsen, welche farblos sein müssen, und daher achromatische Linsen genannt werden. Newton war die Ungleichheit des Zerstreuungs-

vermögens verschiedener Mittel entgangen. Euler mach die Möglichkeit aufmerksam, durch geeignete Combination achromatische Prismen und Linsen zu verfertigen. Das achromatische Fernrohr hat der Mechaniker Dollond in L ausgeführt.

560. Von den optischen Linsen. — Optische Linsen nennt man durchsichtige Mittel, welche auf zwei gegenüberliegenden Seiten von Umdrehungsflächen, gewöhnlich von Kugelflächen (daher sphärische Linsen) begrenzt sind.

Es gibt sechs verschiedene Arten solcher Linsen: *a*) die biconvexe (Fig. 280), mit zwei erhabnen Oberflächen; *b*)

Fig. 280.



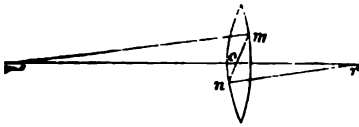
a) die biconvexe, die eine Oberfläche eben, die andere erhaben; *b*) die planoconvexe, die eine Oberfläche eben, die andere erhaben; *c*) die concavconvexe, die eine Oberfläche hohl, die andere erhaben; *d*) die biconcave mit zwei concaven Oberflächen; *e*) die planconcave; *f*) die convexconcave. Die ersten nennt man nach ihrer wichtigsten optischen Eigenschaft Sammellinsen. Sie unterscheiden sich von den drei letzten, welche Zerstreuungslinsen heißen, leicht dadurch, dass die ersten in der Mitte dicker als am Rande, die letzten aber am Rande dicker als in der Mitte sind. *c* und *f* führen auch die Namen Meniscuslinsen, so wie periscopische Gläser. Gewöhnlich sind die Linsen aus Glas geschliffen, zuweilen aber auch aus Bergkrystall. Man hat auch hohle Linsen aus Uhrgläsern zusammengesetzt, dann mit einer brechenden Flüssigkeit gefüllt werden.

Man nennt eine sphärische Linse centrirte, wenn die Gerade, welche die Krümmungsmittelpunkte beider Kugelflächen verbindet, zugleich durch die Mitte der Linse geht. Planoconvexe und planconcave Linsen sind centrirte, wenn der durch die Mitte der krummen Fläche durchschneidende Radius auf der ebenen Fläche senkrecht steht. Zu optischen Zwecken sollen nur centrirte Linsen verwendet werden.

Ein Punkt in der geraden Verbindungslinie beider Krümmungsmittelpunkte einer Linse, welcher die Eigenschaft hat, dass jede durch denselben geführte gerade Linie an beiden Grenzflächen der Linse auf solche Stellen trifft, die zu einander parallel stehen, wird der optische Mittelpunkt genannt.

Der Punkt liegt genau in der Mitte der Linse, wenn ihre beiden Oberflächen gleiche Krümmung haben. Sind sie ungleich, so nähert er sich der Seite der stärkeren Krümmung.

Fig. 281.



Um in diesem Falle seine Lage genau zu bestimmen, ziehe man, wenn r (Fig. 281) den Krümmungsmittelpunkt der einen, r' den der andern Oberfläche bedeutet, in beliebiger Richtung den Radius $r'm$, dann damit parallel den Radius rn , und verbinde m mit n durch eine gerade Linie. Der Durchschnitts-

punkt o ist der optische Mittelpunkt. Es ist aber:

$$\frac{or}{or'} = \frac{nr}{nr'}$$

Ist die eine Linsenfläche eben, so fällt der optische Mittelpunkt in den Schnittpunkt der krummen Fläche mit ihrem auf der ebenen Fläche senkrecht stehenden Radius. Bei concav-convexen Linsen befindet sich die optische Achse sogar ausserhalb der Linse, auf der Seite der stärksten Krümmung.

Jede durch den optischen Mittelpunkt einer Linse gehende Gerade heisst eine Axe derselben. Geht sie zugleich noch durch die beiden Krümmungsmittelpunkte, wie die Linie ror' , so heisst sie Hauptaxe genannt. Lichtstrahlen die in der Richtung der Hauptaxe durch eine Linse fahren, nennt man Hauptstrahlen. Sie verhalten sich, wie wenn sie durch eine von parallelen Wänden begrenzte Glasplatte gegangen wären, d. h. sie werden von der Linse in ihrer Richtung nicht abgelenkt.

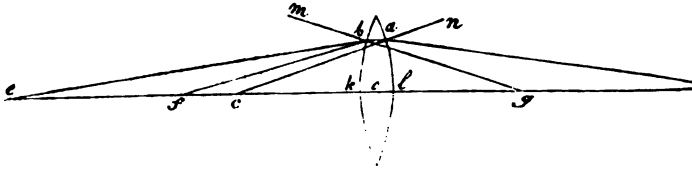
Die Linsen bestehen gleichsam aus einer grossen Zahl übereinander geschichteter Prismastücke, deren brechender Winkel mit dem Abstände von der Mitte zunimmt. Lichtstrahlen, welche irgend einem Punkte einer Axe ausgehend, die Linse treffen, werden daher um so stärker gebrochen, je näher dem Rande sie eintreffen. Die allgemeine Wirkung der drei ersten Arten besteht darin, die Divergenz der einfallenden Strahlen zu vermindern und dieselben in Convergenz zu verwandeln. Durch den Einfluss der dritten Art werden, wie man leicht sieht, die Strahlen mehr oder weniger zerstreut.

361. Sammellinsen. — Wenn beide Flächen einer sehr dünnen Linse aus sehr kleinen Segmenten der Kugeln, welchen sie angehören, entsprechen; oder wenn man bei stärkeren Krümmungen nur solche Strahlen in Betracht zieht, die in der Nähe der Mitte einfallen (Centralstrahlen); dann man, jedoch nur unter diesen Einschränkungen, die Wirkung einer Sammellinse auf folgende Art durch Rechnung bestimmen.

Man setze (Fig. 282) den Radius der Vorderfläche $ca = r$; den der Hinterfläche $gb = r'$; ferner den Abstand eines leuchtenden Punctes S von dem optischen Mittelpunkte, nämlich $So = l$, und folglich auch wegen der geringen Dicke der Linse: $l = Sa = Sb$; dann $eo = d$ und wieder entsprechend auch $d = ea = eb = ek = ei$; endlich $fo = fk = fi = f$.

Ein Lichtstrahl (Fig. 282) So an der Vorderfläche der Linse kommend, werde in der Richtung ab gebrochen, und müsste demgen

Fig. 282.



Axe Soe des Lichtpunktes S in e schneiden. Bei seinem Austritt in Linse, bei b , erleidet er aber eine zweite Brechung und wird genöth Weg bf zu verfolgen. Er schneidet daher die Axe in f .

Nun ist für die erste Brechung: $n : 1 = \sin. naS : \sin. bac$ auch da $\sin. naS = \sin. caS$

$$n : 1 = \sin. caS : \sin. bac$$

ferner im Dreiecke Sac :

$$Sa : Sc = \sin. c : \sin. caS$$

im Dreiecke $eaec$:

$$ec : ea = \sin. bac : \sin. c.$$

Werden diese drei Gleichungen Glied für Glied zusammen genommen erhält man:

$$n \cdot Sa \cdot ec : Sc \cdot ea = 1. \quad (I)$$

Für die zweite Brechung bei b ist:

$$n : 1 = \sin. m'bf : \sin. abg;$$

oder auch, da $\sin. m'bf = \sin. fbg$ und $\sin. abg = \sin. ebg$,

$$n : 1 = \sin. fbg : \sin. ebg$$

ferner im Dreiecke fbg

$$fb : fg = \sin. bgf : \sin. fbg$$

im Dreiecke ebg

$$eg : eb = \sin. ebg : \sin. bgf.$$

Diese drei Gleichungen, wie vorher, Glied für Glied multiplicirt, erhalten:

$$n \cdot fb \cdot eg : fg \cdot eb = 1. \quad (II)$$

Die Gleichungen I und II verwandeln sich durch Einführung der angenommenen Zeichen, und indem man $ec = d - r$, $Sc = l + r$, $eg = d + r'$ und $fg = f + r'$ setzt, in die folgenden:

Aus I wird: $nl(d - r) : (l + r) = 1$ oder auch:

$$(nl - l - r) d = ndr$$

Aus II wird: $nf(d + r') : (f + r') d = 1$ oder auch:

$$(f + r' - nf) d = nfr'$$

Die erste dieser Gleichungen durch die zweite dividirt, erhält man den erforderlichen Reductionen:

$$l r r' = \{ (n - 1) (r + r') l - r r' \} f$$

und indem man noch durch $l r r' f$ dividirt:

$$\frac{1}{f} = \frac{(n - 1) (r + r')}{r r'} - \frac{1}{l}$$

Mit Hilfe dieser Gleichung lässt sich das Verhalten optischer Linsen der central einfallenden Strahlen mit Leichtigkeit voraussagen.

Man hat der bequemeren Betrachtung wegen, den ersten Theil des zweiten Gliedes, welcher sich auf die besondere Beschaffenheit der

sten Linse bezieht, mit $\frac{1}{p}$ bezeichnet und erhält dadurch:

$$\frac{(n-1)(r+r')}{rr'} = (n-1) \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right) = \frac{1}{p} \quad \text{und}$$

$$(\beta); \frac{1}{f} = \frac{1}{p} - \frac{1}{l} \quad \text{oder auch} \quad f = \frac{pl}{l-p}.$$

Die Punkte S und f welche den Abständen l und f von der Linse entfern sind, liegen nach Annahme in der Axe der Linse. Was für den Strahl richtig ist, gilt mit gleichem Rechte für alle unter ähnlicher Beziehung stehenden Strahlen, also für alle Centralstrahlen. Die Gleichung (β) belehrt demnach, dass alle von einem Punkte der Axe ausgehenden und die in der Nähe der Mitte treffenden Strahlen, in Folge der Brechung wieder in einem Punkte der Axe vereinigt werden. Die Richtung des Hauptstrahls eines Strahlenbündels zeigt diejenige Richtung an, in welcher alle Strahlen nach der Brechung wieder zusammentreffen. Nehmen wir zuerst den Punkt S sei unendlich weit entlegen, also alle von ihm ausgehenden Strahlen parallel, so hat man für l unendlich gross $\frac{1}{l} = 0$, daher

p .

Parallel einfallende Strahlen vereinigen sich im Abstand p von der Linse. Dieser Vereinigungspunkt parallel einfallender Strahlen, nennt man den Brennpunkt. Seine Entfernung vom optischen Mittelpunkt die Brennweite. Seine Lage hängt, wie man aus Gleichung (α) erkennt, von der Brennweite der Linse ab. Er entfernt sich von dieser um so mehr, je grössere Krümmungshalbmesser r und r' man gewählt hat. Ist r' unendlich gross, so hat man den Fall der planconvexen Linse, deren Brennpunkt also noch so weit entfernt liegt, als wenn $r = r'$. Seine Entfernung nimmt mit r mehr zu, jedoch immer im positiven Sinne, wenn r' negativ übrigens als r genommen wird. Diess ist der Fall der concav-convexen Linse. Die drei Linsensorten $a)$, $b)$ und $c)$ haben also wirkliche Brennpunkte und sie besitzen die Eigenschaft, Strahlen, welche parallel mit der Axe einfallen, in einem Punkte zu vereinigen.

Die Lage des Brennpunktes ist ausserdem von dem Brechungsverhältnisse des Stoffes der Linse abhängig. Z. B. für Linsen aus Crownnglas, die auf beiden Seiten gleiche Krümmung haben, fällt der Brennpunkt fast mit Krümmungsmittelpunkte zusammen, weil $n-1$ nahe 0,5.

Setzen wir jetzt in Formel (β) , $l = p$ so findet man $\frac{1}{f} = 0$ d. h. f unendlich gross. Die vom Brennpunkte ausgehenden Strahlen fallen auf der gegenüberliegenden Seite parallel aus.

Für $l = 2p$ ist $f = 2p$. Während also der Lichtpunkt aus unendlicher Ferne bis zum Abstände $2p$ gegen die Linse rückt, entfernt sich der Vereinigungspunkt f aus dem Abstände p bis zu $2p$. Rückt der Lichtpunkt noch mehr bis gegen p hin, so entfernt sich f allmählig bis auf unendliche Ferne.

Es ist für die Anwendung der Linsen von sehr grosser Wichtigkeit, dass die Veränderungen im Abstände des aus der Ferne näher-rückenden Lichtpunktes, verhältnissmässig nur geringe Schwankungen in der Lage des Brennpunktes f zur Folge haben, wie man deutlich aus der folgenden Zusammenfassung ersieht.

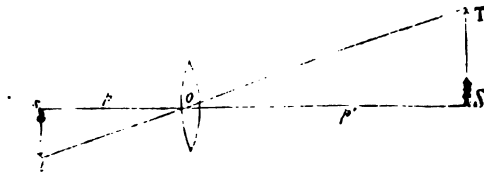
für $l = 2p$	ist $f = 2p$
„ $l = 10p$	„ $f = 1,111p$
„ $l = 20p$	„ $f = 1,0526p$
„ $l = 50p$	„ $f = 1,0204p$
„ $l = 100p$	„ $f = 1,0101p$
„ $l = 1000p$	„ $f = 1,0010p$

Rückt der Lichtpunct über den Brennpunct hinaus gegen die Linse kleiner als p , so findet man f negativ. Z. B. für $l = \frac{1}{2}p$ ist $f = -$ die Strahlen bleiben divergirend, sie scheinen aber von einem Punkte zu kommen, welcher weiter von der Linse entfernt liegt, als ihr Ausgangspunct. Diesen scheinbaren Vereinigungspunct nennt man eingebildeten (imaginären).

562. Es ist sehr leicht, das Verhalten der optischen Sammellinsen durch den Versuch zu bewähren. Man lasse zu diesem Zwecke durch ein rundes, ein bis zwei Zoll weites Loch in einem dunklen Schirm, einen Bündel, mit Hilfe eines Spiegels horizontal gegen die Sonne, in das verdunkelte Zimmer einfallen, und durch denselben eine Linse von mässiger Krümmung entgegen dem beleuchteten Staubtheilchen erkennt man sogleich die Divergenz der Strahlen. Man bemerkt, wie sie sich mehr und mehr vereinigen, eine Stelle der grössten Dichtigkeit erreichen und wieder auseinandergehen. Diese Stelle, an welcher ein scharfes Bild der Sonne erhält, ist der Brennpunct der Linse. Man lasse nun den jenseits des Brennpunctes divergirend gegen die Linse Strahlen andere Linsen darbieten, lassen sich alle, auf der Grundlage der Rechnung vorausgesehenen Resultate, durch das Experiment bestätigen.

Kleine Drehungen einer Linse um ihren optischen Mittelpunkt in welchem Sinne sie auch stattfinden mögen, zeigen keinen Einfluss auf die Lage des Vereinigungspunctes der Strahlen, wie auf die Deutlichkeit des erhaltenen Sonnenbildes. Man kann hieraus schliessen, dass, was für die Hauptaxe bewiesen ist, innerhalb gewisser, nicht sehr weiter Grenzen, auch für Gegenstände benaxen gültig ist. Jeder helle Gegenstand, auf der einen Seite einer Linse und ausserhalb ihrer Brennweite befindlich, vermöge der von ihm ausgehenden Strahlen auf der andern Seite ein Bild (Luftbild) erzeugen, und zwar wird jeder Punkt des Gegenstandes einen Vereinigungspunct der von ihm gegen die Linse gerichteten Strahlen in derjenigen geraden Linie

Fig. 283.



benaxen erhalten, die von dem Punkte aus durch den optischen Mittelpunkt der Linse geht. Die Bilder stehen da umgekehrt.

Um diese Bilder mehreren Personen zugleich zu zeigen, kann eine gute argandische Lampe dienen, die man mit einem geschwärzten Blechcylinder umschliesst, in welchen eine geeignete Figur, z. B. ein Kreuz eingeschnitten ist. Die durch diese Oeffnung fahrenden Strahlen erzeugen dann auf der andern Seite der Linse ein Bild, das auf einem Schirm aufgefangen die Gestalt der Oeffnung hat, aber verkehrt steht. Seine Grösse hängt von der Brennweite, und der Entfernung der Lampe von der Linse ab. Befindet sich die Lampe zwischen der einfachen und doppelten Brennweite, so entstehen vergrösserte Bilder. Befindet sie sich jenseits $2p$, so ist das Bild kleiner als sein Original. In der doppelten Brennweite selbst aufgestellt, erzeugt sich auch das Bild in der doppelten Brennweite, und hat die Grösse des Gegenstandes.

Im Allgemeinen ist die lineare Dimension des Bildes durch das Verhältniss (Fig. 283)

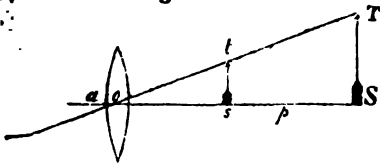
$$\frac{ST}{st} = \frac{oS}{os} = \frac{l}{f}$$

gegeben.

Nach Gleichung (β) ist $\frac{l}{f} = \frac{l-p}{p}$. Es sei l ein hinlänglich grosser Abstand, um p dagegen vernachlässigen zu können, so sieht man, dass die in diesem Abstände auf einem Schirm erzeugte Bild um so grösser ausfällt, je kleiner die Brennweite der angewendeten Linse.

In einem Falle kommt kein Bild zu Stande, das auf einem Schirme aufgefangen werden kann; dann nämlich, wenn der Gegenstand zwischen Linsenfläche und Brennweite aufgestellt wird.

Fig. 284.



Es ist schon früher gezeigt worden, dass die Strahlen in diesem Falle nicht convergirend gemacht werden können. Da aber doch ihre Divergenz vermindert worden ist, so haben die von s (Fig. 284) ausgehenden Strahlen beim Austritt aus der Linse eine solche Richtung angenommen, als kämen sie von S her, die von t in der Nennweite fo ausfahrenden scheinen vom Punkte T derselben Axe her zu kommen. Es entsteht daher für ein bei a vor der Linse befindliches Auge, ein vergrössertes und aufrechtstehendes Bild T in dem Abstände

$$f = \frac{lp}{p-l}, \text{ wenn } os = l.$$

Soll dieses Bild mit verschiedenen Linsen immer in demselben Abstände hervorgebracht werden, so findet man leicht, dass

auch für diesen Fall die vergrößernde Kraft einer Linse sich nahe umgekehrt wie ihre Brennweite verhält.

563. Zerstreuungslinsen. — Der Ausdruck $(n-1) \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right)$

kann in drei Fällen negativ werden. Wenn die Radien r und r' beide negativ, d. h. wenn beide Oberflächen der Linse entgegengesetzt gekrümmt sind, wie bei der biconcaven Linse; wenn r negativ und r' unendlich groß ist, wie bei der planconcaven Linse; und endlich drittens wenn r negativ und r' zwar positiv aber grösser als r ist, wie bei der convex-concaven Linse. Für diese drei Linsensorten ist also p ein negativer Werth, daher

$$\frac{1}{f} = -\frac{1}{p} - \frac{1}{l} \quad \text{oder auch} \quad f = \frac{pl}{l+p}$$

Das Verhalten der Zerstreuungslinsen ergibt sich hieraus sehr einfach. Die Vereinigungspuncte der Strahlen sind stets negativ, d. h. sie liegen auf der Seite der Linse, von welcher die Strahlen herkommen, und sind also nur scheinbar vorhanden; daher der Name: eingeblendete (imaginäre) Brennpuncte. Der Abstand dieser Puncte von der Linse ist immer geringer als die Entfernung der Ausgangspuncte der Strahlen, denn welchen Werth man l beilegen mag, so findet man doch f immer kleiner als l . Die scheinbaren Bilder liegen demnach stets zwischen Gegenstand und Linse. Sie sind verkleinert und aufrecht stehend.

594. Die Bilder, welche man durch eine gewöhnliche Linse erhält, sind je nach der Stärke der Ablenkung, welche die Lichtstrahlen erfahren, mehr oder weniger von Farben umsäumt. Es ist klar, dass die Linse gleich dem Prisma das gebrochne Licht in Farben zerstreuen muss.

Die blauen Strahlen, als die brechbarsten, durchkreuzen die Axe früher als die gelben und-rothen. Man erhält daher für jeden durch die Linse gebrochenen Strahlenkegel anstatt eines Brennpunctes eine ganze Reihe hintereinander und folglich auch eine eben so grosse Anzahl hintereinander liegender ungleich grosser Bilder. Will man das zunächst an der Linsenfläche liegende blaue Bild auffangen, so sind die anders gefärbten Strahlen noch nicht zur Vereinigung gekommen. Fängt man das rothe Bild auf, so sind die blauen Strahlen bereits wieder auseinander gegangen. Obschon sich nun zwischen diesen beiden Gränzen eine Stelle der kleinsten chromatischen Abweichung nachweisen lässt, so kommen doch nirgends ganz farbenfreie Bilder zu Stande.

Man verbessert diese Unvollkommenheit durch Verbindung einer Sammellinse von Crownsglas mit einer Zerstreuungslinse

Fig. 285.



von Flintglas (Fig. 285), beide so geschliffen, dass sie gleiche Farben zerstreue Kraft besitzen. Ein solches System, das bei richtiger Berechnung, wenn auch nicht ganz und gar die Farbenzerstreuung aufhebt (No. 559) doch ihren störenden Einfluss beseitigt, wird eine achromatische Linse genannt.

565. Eine zweite Mangelhaftigkeit der optischen Linsen beruht auf der kugelförmigen Gestalt ihrer Oberflächen. Die bisher erörterten Regeln zur Bestimmung der Lage der Bilder, beziehen sich auf Linsen von sehr schwacher Krümmung, oder bei stärker gekrümmten Oberflächen ausschliesslich nur für Centralstrahlen. Strahlen, die entfernter von der Mitte gegen den Rand einfallen (Randstrahlen), werden zu stark gebrochen um mit den Centralstrahlen im Brennpuncte zusammentreffen zu können. Sie schneiden vielmehr vor der Axe, um so näher der Linsenfläche, je näher dem Rande derselbe eingefallen waren. Indem sie sich dann wieder ausbreiten, bevor die Centralstrahlen zur Vereinigung kommen konnten, bilden sie um die durch die letzteren erzeugte helle Bild, Kreise von geringerer, nach dem Rande hin abnehmender Lichtstärke, die sogenannten Abweichungskreise. Die hieraus entspringende Undeutlichkeit der Bilder nennt man die sphärische Abweichung wegen der Kugelförmigkeit (der Linsen). Um sie unschädlich zu machen, muss man die Linsen vom Rande aus gegen die Mitte so abdecken (blenden), als unumgänglich ist um Bilder von befriedigender Schärfe zu erhalten. Freilich vermindert sich mit dem gestatteten Oeffnungsdurchmesser der Linse zugleich auch das Feld über welches sich ihre Vergrößerung erstreckt, so wie die Lichtstärke der Bilder. Dem Gebrauche der stark gewölbten und folglich stark vergrößernden Linsen, ist dadurch eine natürliche Gränze gesetzt. Vieles lässt sich indess hierbei durch richtige Aus-

wahl und Stellung der Linsen gewinnen. Aus der Gleichung $\frac{1}{p} = (n - 1) \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right)$; (α, No. 561) ersieht man, dass ein und dieselbe Brennweite durch die Centralstrahlen, mit Linsen von sehr mannigfaltiger Krümmung erreicht werden kann, vorausgesetzt nur, dass die Summe $\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}$ unverändert bleibt. Die sphärische Abweichung wird aber offenbar bei derjenigen Krümmung am geringsten sein, bei welcher die Ablenkung der Randstrahlen ihren kleinsten Werth hat, d. h. bei welcher der Aus- und Einfallswinkel des Strahls einander gleich sind (No. 554). Dies geschieht z. B. für alle einfallende Strahlen, wenn die Krümmungsradien der Linse sich wie 1 : 6 verhalten, und wenn dann die stärker gekrümmte Fläche den einfallenden Strahlen dargeboten wird. Schief einfallenden Strahlen würde man die kleinste Ablenkung der Randstrahlen zu erzielen, gerade die flacher gekrümmte Oberfläche einer Linse entgegensetzen müssen.

Das wirksamste Mittel die sphärische Abweichung zu verbessern, besteht darin, an der Stelle einer einzigen stark brechenden Linse, deren Brennweite von schwächerer Krümmung aufeinander zu legen. Nach Gleichung

$= \frac{1}{f} + \frac{1}{l}$ (β, No. 561) ist für einen bestimmten angenommenen Werth von f oder l , das Verhältniss von f zu l , d. h. das Verhältniss der

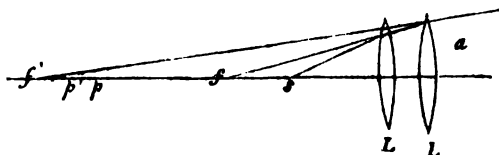


Fig. 286.

Abstände des Gegenstandes und seines Bildes von der Linse durch die Brennweite p gegeben. Es seien L und L' (Fig. 286) zwei Linsen von grosser

Brennweite, also sehr mässiger Krümmung, für welche obige Gleichung Geltung hat; p und p' ihre Brennpuncte. Der Ausgangspunct der Strahlen mag bei s , zwischen der ersten Linse und ihrem Brennpuncte liegen. Durch die Brechung in der ersten Linse werden die Strahlen so geleitet, als kämen sie von f her. f ist daher ihr scheinbarer Ausgangspunct beziehungsweise zur zweiten Linse, in welcher sie dann so abgelenkt werden, dass sie für ein bei s befindliches Auge vom Punkte f' abzustammen scheinen. Setzt man demnach für die erste Linse $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} - \frac{1}{l}$, so ist für die zweite, unter der Voraussetzung der Zeichnung, dass l kleiner als p , folglich f negativ:

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{p'} + \frac{1}{f} = \frac{1}{p'} + \frac{1}{p} - \frac{1}{l};$$

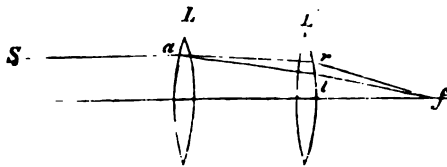
$$\text{also } \frac{1}{f'} + \frac{1}{l} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{P}$$

Aus diesem Resultate ist ersichtlich, dass wenn P die Brennweite einer stark gekrümmten Linse vorstellt, und f' den Abstand des Bildes für die gegebene Entfernung l des Gegenstandes bedeutet, dasselbe Verhältniss f'/l auch durch mehrere aufeinander liegende Linsen erhalten werden kann, unter der Bedingung, dass $\frac{1}{P} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} + \frac{1}{p''} + \dots$ Im letzteren Falle erreicht man aber den Vortheil, dass ohne die Zerstreuungskreise zu vergrössern, ein grösserer Oefnungsdurchmesser genommen werden darf. Ein Theil des erzielten Lichtgewinnes geht allerdings durch die wiederholten Reflexionen an den Oberflächchen der Linsen wieder verloren.

566. Durch geeignete Auswahl und Verbindung zweier Linsen von Crown-glas ist es gelungen, die Wirkung einer einzigen Linse von viel kürzerer Brennweite zu erhalten und doch zugleich neben der sphärischen auch die chromatische Abweichung grösstentheils aufzuheben. Eine solche Combination heisst eine aplanatische Linse.

Es sei Sa (Fig. 287) ein auf der ersten Linse L einfallender und durch die Brechung in seine Bestandtheile zerlegter Strahl. Der rothe Strahl, als der weniger brechbare, nimmt den Weg ar , der blaue den Weg al . Er-

Fig. 287.



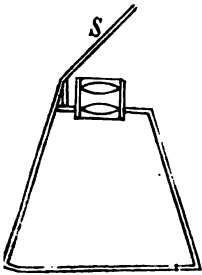
sterer erreicht daher die zweite Linse L' an einer ihrem Rande näher liegenden Stelle und kann folglich bei richtigem Abstände beider Linsen so gebrochen werden, dass er mit dem blauen Strahle in dem Punkte f' auf der Axe zusammentrifft.

Die gewöhnliche achromatische Linse ist bei kurzer Brennweite nicht frei von der sphärischen Abweichung. In Fällen wo man einer kurzen Brennweite und doch zugleich auch einer grossen Oefnungswerte der Linse bedarf, bietet sich daher die beschriebene Linsenverbindung als ein sehr nützlichcs Auskunsftsmittel.

Vom menschlichen Auge und den dioptrischen Instrumenten.

567. Die dunkle Kammer (*camera obscura*). — Durch enge Oeffnungen bekommt man, wie früher (No. 543) erwähnt wurde, verkehrt stehende Bilder äusserer Gegenstände, die doch nur geringe Lichtstärke besitzen und bei zunehmender Grösse der Oeffnung undeutlich werden. Die Benutzung der Sammellinse gestattet weitere Oeffnungen, also grössere Helligkeit, so dass die Richtung des Hauptstrahls, in welcher jeder äusserer Punkt hinter der Oeffnung ein Bild erzeugt, geändert wird. Es ist jetzt, je nach der Wahl der Linse, die Stelle hinter der Linse bestimmt, auf welcher ein deutliches Bild erscheinen kann. Diese Stelle ist für alle Gegenstände, welche um mehr als 20fache Brennweite von der Linse entfernt liegen, fast gleich (s. 561). Für nähere Gegenstände muss der Schirm, auf welchem das Bild aufgefangen werden soll, mehr und mehr von der Linse abgerückt werden, oder wenn der Schirm unbeweglich ist, muss die Linse verschiebbar sein. Um die dunkle Kammer mit Bequemlichkeit zum Nachzeichnen entfernter Gegenstände benutzen zu können, wird die Linse in passendem Abstände über einem Loch angebracht, und ausserhalb des dunklen Raumes ein Spiegel *S* (Fig. 288) so aufgestellt, dass er das Licht senkrecht gegen die Linse wirft.

Fig. 288.



Durch die Erfindung der Photographie ist das Bedürfniss entstanden, camera obscura Bilder von vollkommener Schärfe und möglichst grosser Lichtstärke hervorbringen zu können.

Linsenverbindungen von ausgezeichneter Wirksamkeit werden zu diesem Zwecke von Voigtländer in Wien nach einer Angabe von Petzval verfertigt.

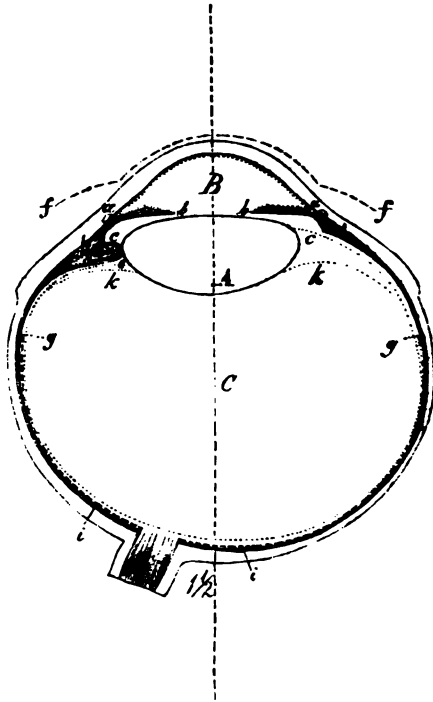
568. Das Auge als optische Geräthschaft. — Das menschliche Auge in seiner Beziehung als optisches Werkzeug gleicht einer camera obscura (No. 544), in welcher die Schärfe und Helligkeit der Bilder durch ein in grosser Vollkommenheit ausgebildetes Linsensystem, bestehend aus der Hornhautkrümmung und dreien, das Innere des Auges ausfüllenden, sehr durchsichtigen, theils flüssigen, theils halbflüssigen Medien bewirkt wird.

Der Augapfel, annähernd kugelförmig, an der hinteren Seite etwas abgeplattet, mit stärkerer Wölbung an dem durch-

sichtigen Theil der vorderen Fläche, liegt in seiner knöch mit Fett ausgepolsterten Höhle, umgeben von Muskeln, v ihm innerhalb eines mässigen Spielraums, eine sehr gros weglichkeit nach allen Richtungen ertheilen.

Man hat gefunden, dass diese Bewegungen um einen weglichen Punct *C*, nahe in der Mitte des Augapfels, den punct geschehen (Fig. 289).

Fig. 289.



Die äussere Umkleidung des Augapfels besteht aus weissen, lederartigen, sehr elastischen Haut von etwa $\frac{1}{2}$ Dicke, der harten Haut (sclerotica), deren vorderer, s gewölbter Theil durchsichtig ist und den Namen Hornhaut (nea) erhalten hat. Die Dicke der letzteren beträgt in der gewöhnlich unter einer halben Linie, verstärkt sich nach dem Rande hin. Die Krümmung ihrer Vorderfläche s sich der elliptischen zu nähern, ist aber noch nicht gena kannt.

Eine gerade Linie, von der Mitte der Hornhaut zur M hinteren Wölbung der harten Haut gezogen, wird die Auge:

er Sehaxe genannt. Sie bildet die optische Axe des Linsensystems und enthält auch den Drehpunct des Auges. Etwas seitwärts von dieser Linie gegen die Nase hin, dringt ein Nervenang, der Sehnerv, durch die hintere Fläche der harten Haut das innere Auge und vermittelt dessen Verbindung mit dem Hirn. Der Abstand vom Mittelpuncte der Einsenkung des Sehnervs zum Fusspuncte der Sehaxe beträgt ungefähr $1\frac{1}{2}$ Linie.

Die ganze Innenfläche der sclerotica bis zum Rande der Aderhaut ist mit einer an Blutgefässen sehr reichen Haut, der Aderhaut (chorioidea) überzogen. Diese geht am vordern Ende in die Regenbogenhaut (iris) über, welche sich hinter der Aderhaut quer durch das Auge zieht und nur in der Mitte eine kleine Oeffnung, die Pupille (das Lichtloch), von $1\frac{1}{2}$ Linien mittlerer Weite lässt.

Unmittelbar vor ihrem Uebergange in die Iris verdickt sich die Aderhaut zu einem ringförmigen Wulste, welcher Ciliarkörper genannt wird. Sein vorderer Theil, das Ciliarband, weiss und durchsichtig, vermittelt einen genauen Zusammenhang der Aderhaut mit der harten Haut und dem Rande der Hornhaut. Der nach Innen gerichtete Theil, der eigentliche Ciliarkörper ist vielfach gefaltet und schwarz. Ein Kreis strahlenförmig aus ihm vorspringender Falten, die Ciliarfortsätze (processus ciliares) erstrecken sich bis zur Krystalllinse, deren Rand sie einfassen.

Die Aderhaut sammt dem inneren Theile des Ciliarkörpers und dessen Fortsätzen ist mit einem dunkelbraunen, fast schwarzen Farbstoffe bedeckt und durchtränkt. Derselbe Farbstoff überzieht auch die hintere Fläche der Iris bis zum Pupillenrande und verhindert so den Eintritt alles störenden Lichtes.

Auf der Innenseite der Aderhaut und gleichsam in das Schwarz derselben eingetaucht, breitet sich der Sehnerv als eine feine Nervenhaut, die Netzhaut (retina), aus. Nach vorn erstreckt sie sich bis zum Ciliarkörper, mit dem sie verwachsen ist.

Ihre Dicke beträgt am grössten Theile ihrer hinteren Ausdehnung $\frac{1}{15}$ — $\frac{1}{10}$ Linie. Gerade da, wo sie von der Axe durchsetzt wird, befindet sich ein gelber Fleck von 1 Linie Durchmesser. Es ist ihr empfindlichster Theil, und hier erzeugen sich die schärfsten Bilder.

Die Krystalllinse (A) mit der sie einschliessenden glasigen Linsencapsel gleicht einer doppelt convexen optischen Glaslinse. Sie sitzt nahe hinter der Pupille und besteht aus glashellen Fasern, welche Schichten bilden, die bei zunehmender Festigkeit nach Innen, einander so umgeben, dass sich die Inneren, gegen den Kern hin, mehr und mehr der Kugelgestalt nähern (Fig. 290). Ein Durchschnitt der

Fig. 290.



hr der Kugelgestalt nähern (Fig. 290). Ein Durchschnitt der

vorderen flachen Oberfläche schliesst sich unter den Kegelschnitten am nächsten einer Ellipse an; die mehr gewölbte Hinterfläche nähert sich der Parabel*). Die Linse ist so gestollt, dass ihre optische Hauptsaxe mit der Sehaxe zusammenfällt. Sie scheidet den inneren durchsichtigen Theil des Augapfels in zwei Abtheilungen von sehr ungleicher Grösse. Der grössere hintere Raum ist von der Glasfeuchtigkeit ausgefüllt, der viel kleinere vordere Raum zwischen Hornhaut und Linse und auf beiden Seiten der Pupille enthält die wässerige Flüssigkeit. Die letztere ist körnigflüssig; die Glasfeuchtigkeit dagegen, weil sie von einem sehr durchsichtigen Zellgewebe durchsetzt und von der gleich durchsichtigen Glashaut eingeschlossen ist, zeigt einen gallertartigen Zusammenhang. Die Glashaut ist mit der Netzhaut an den Cilienkörper angewachsen; in einer Vertiefung derselben sitzt die Linsen kapsel fest.

Die Linse, wie die beiden Augenflüssigkeiten, bestehen ihrer chemischen Beschaffenheit nach fast nur aus Wasser. Auch unterscheiden sich die Brechungsexponenten der beiden letzteren kaum von der des Wassers. Man findet:

Für das reine Wasser $n = 1,335$,
für die wässrige Feuchtigkeit $n = 1,337$,
für die Glasfeuchtigkeit $n = 1,339$.

Das Brechungsverhältniss der Linse nimmt von den äusseren zu den inneren Schichten merklich zu. Man hat gefunden:

für die äussersten Schichten, $n = 1,357$,
für die mittleren Schichten, $n = 1,357$,
für die innersten Schichten, oder den Kern, $n = 1,407$.
Als Mittel aller Schichten, $n = 1,384$.

Dieser Mittelwerth entspricht jedoch keineswegs der ablenkenden Kraft der Linse, auf die in der Umgebung ihrer Axe durchfallenden Strahlen. Diese Kraft ist vielmehr nicht unbedeutend grösser, weil die inneren Theile der Linse nicht bloss durch vermehrte brechende Kraft, sondern durch die zunehmende Krümmung, die Ablenkung vermehren. Senff, der auf diesen Umstand zuerst die Aufmerksamkeit lenkte, fand die durch eine Ochsenlinse bewirkte Ablenkung, wenn man den Stoff der Linse, zur Bequemlichkeit der Rechnung, als ein Mittel von gleichartiger brechender Kraft betrachtet, dem Brechungsexponenten $n' = 1,539$ entsprechend. Unter derselben Voraussetzung hat Listing in einer Abhandlung über den Gang der Lichtstrahlen im menschlichen Auge (Handwörterbuch der Physiologie von R. Wagner IV. 451.) $n = 1,456$ angenommen.

Das Brechungsverhältniss der Hornhaut ist, so viel man weiss, von dem der wässrigen Feuchtigkeit nicht merklich verschieden. Die in das Auge dringenden Lichtstrahlen erleiden daher, bevor sie die Netzhaut erreichen können, wesentlich drei Ablenkungen; die erste und stärkste an der Vorderfläche der Hornhaut, die zweite und dritte an der Vorder- und Hinterfläche der Linse. Die beiden letzten sind jedoch von geringerer Bedeutung als die erste; denn da die Linse auf beiden Seiten von Mitteln von nicht sehr viel geringerer brechender Kraft umgeben ist, so entspricht die optische Wirksamkeit ihres Stoffes nur dem Quotienten $\frac{n'}{n} = \frac{1,456}{1,337} = 1,069$ (No. 555.)

*) Anatomische Beschreibung des menschlichen Augapfels von Ernst Brücke.

hiernach, dass die Anordnung der Linse hauptsächlich die Achromatische Abweichung bezweckt; worauf überdiess auch ihre Structur hinzielt. Vielleicht hat sie aber auch mit die Bestimmung halber Weise, wie es bei aplanatischen Linsen geschieht, auf die Abweichung der chromatischen Abweichung hinzuwirken. Denn zu dieser ist in dem Auge kein anderes Hilfsmittel vorgesehen, und doch ist kein Zweifel, dass die Lichtstrahlen beim Eingang in die Hornhaut zerstreut erfahren.

Nach den linearen Verhältnissen des Auges haben die folgenden Abstände das meiste Interesse für die optische Frage.

Par. Linien:

radius der Vorderfläche der Hornhaut in der Umgebung der Axe	$r = 3,54$.
radius der Vorderfläche der Linse, in der Axe	$r' = 4,43$.
radius der Hinterfläche der Linse in der Axe	$r'' = 2,66$.
Linse in der Axe	2,10.
es gelben Flecks von der Vorderfläche der Hornhaut	10,20.
der Hinterfläche der Linse von der Vorderfläche der Hornhaut	4,40.
es Drehpunktes von der Vorderfläche der Hornhaut	5,60.
es Mittelpunktes der Pupille von der Vorderfläche der Hornhaut	1,16.
es Mittelpunktes der Pupille von der Vorderfläche der Linse	0,12.
weite Entfernung der Drehpunkte beider Augen	30''.

Die Lichtstrahlen, welche auf der Hornhaut senkrecht auffallen, in einem nur mit gleichartiger Flüssigkeit gefüllten Auge gehen bis zur Netzhaut gelangen, und sich im Krümmungsmittelpuncte der Hornhaut kreuzen. Dieser Punkt würde dann der optische Mittelpunkt sein.

Nach der Wirkung der Linse wird derselbe der vordern Seite des Auges etwas näher nach o gerückt und liegt demnach der Netzhaut näher als ihr Krümmungsmittelpunct. Listing, indem er $r = 3,545''$; $r' = 4,43''$ und $r'' = 2,66''$ setzte, fand die Entfernung des optischen Mittelpunktes von der Hornhaut = 3,31

Linien. dasselbe Auge lag der innere Brennpunct, oder diejenige Stelle, an welcher parallel einfallende Strahlen zusammentreffen, 5,69 Linien von der Vorderfläche der Hornhaut entfernt. Der Abstand des äussern Brennpunktes oder desjenigen Punktes, von dem ausgehend die Lichtstrahlen nach der Brechung parallel zur Netzhaut gelangen, betrug 5,69 Linien.

Die Netzhaut in ihrem ganzen Umfange empfängt und emittirt die Lichteindrücke, deren Quelle wir aber nicht in den verschiedenen Richtungen, in welchen die von einem Punkte ausgehenden Lichtstrahlen die Netzhaut treffen, sondern nur in der Richtung des Hauptstrahls oder in der geraden Linie von dem Brennpuncte durch den optischen Mittelpunkt nach Aussen auf die Netzhaut (No. 544). Wegen der hervorspringenden Wölbung der Netzhaut können selbst sehr schief einfallende Strahlen in das Auge gelangen. Das Sehfeld unserer Augen erhält daher durch die experimentalphysik.

fest, so überzeugt man sich sogleich, dass fast auch nur dieser einzige augenblicklich deutlich gesehen kann. Das Feld des deutlichen Sehens ist also aus klein. Um dem Auge einen möglichst grossen Umfang des sichern zu können, ist auf dem grössten Theil fauges die Deutlichkeit geopfert; dafür hat ihm aber reichlichen Ersatz die Fähigkeit verliehen, die Sehaktivität auf diejenigen Punkte richten zu können, auf welche der Gedanke verweilt. Hauptsächlich für solche comes aus einem Punkte der Axe kommt, vertritt die l einer Blendung, indem sie die schief einfallenden l loscht und dadurch verändert in das Innere des A laugen.

Aber auch die Axenstrahlen können nicht aus nungen deutliche Bilder auf die Netzhaut werfen. In men gesundes Auge kann Geschriebenes innerhalb von 8 bis höchstens 15 Zol. gewöhnlich am deutlic huckt man das Papier näher an das Auge, so verweise und weilt die Seharte der Linien und bald erhält ma der grössten Ausdehnung keine begränzten Bilder m

Diese Erfahrungen entsprechen ganz dem früher Satz, dass die durch Linien erzeugten Bilder, von d M. die die Entfernung vom Gegenstand stel umgekehrt. Unter der Voraussetzung, dass der Bren Augen die Bilder der Netzhaut egal werden se Gegenstände sehr weit entfernt ganz scharf auf der l sen können, weil diese eben als nicht mehr i von der Netzhaut als ob die Entfernung grösse der Gegenstände gegen die Netzhaut die Bilder he Bei sehr sehr grossen Entfernungen sind die Linien hinter

xe ausfahrenden Strahlen nicht ein Punct, sondern ein Flächstück der Netzhaut beleuchtet werden. Hieraus erklärt sich kommen, warum Gegenstände, welche dem Auge zu nahe sind, nicht mehr deutlich sichtbar sind. Aber die Erfahrung zeigt, dass das deutliche Sehen keineswegs auf eine Stelle beschränkt ist, sondern nur bei einer gewissen, bei verschiedenen Abständen nicht ganz gleichen Stelle, eine Gränze hat. Gesetzt z. B. diese Gränze sei, wie es der gewöhnliche Fall ist, 8 Zoll, so wird ein gesunde Auge nicht bloß in diesem Abstände, sondern auch in einem andern, in 24 Zoll und häufig selbst noch in grösserer Entfernung lesen können, ungeachtet doch z. B. die von einem Puncte, 1 Fuss vor dem Auge liegt, herkommenden Strahlen sich erst in 0,2 Linien Entfernung hinter dem Brennpuncte vereinigen müssen. Aus dieser Fähigkeit des Auges, aus verschiedenen Abständen deutlich zu sehen, hat man die Folgerung gezogen, dass es das Vermögen besitzen müsse, sich den Abständen anzupassen; ein Schluss, der überdiess noch durch die andere Erfahrung bestätigt wird, dass es unmöglich ist, zwei in der Sehaxe weit hintereinander befindliche kleine Gegenstände, gleichwohl deutlich sehen zu können. Man hat das Anpassungs - Vermögen (die Accommodation) auf drei, möglicher Weise von der Kraft des Willens abhängige Veränderungen im Zustande des Auges zurückzuführen gesucht. Sie sind: 1) ein Zurückweichen der Netzhaut, bewirkt durch seitliches Zusammendrücken des Augapfels; 2) ein Verschieben der Linse gegen die Hornhaut und Verengerung davon, ein Vorrücken des optischen Mittelpunctes; 3) Verengerung und Erweiterung der Pupille.

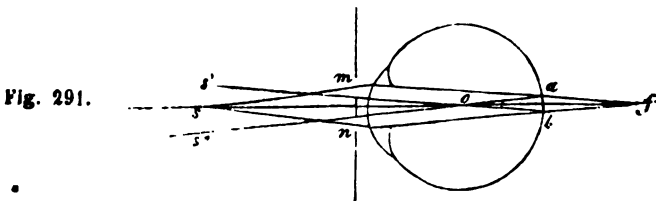
Aus den vorhererwähnten Beispielen ist leicht zu ersehen, dass die Schwankungen im Abstände des gelben Fleckes vom Kreuzpuncte der Hauptstrahlen, von wenig mehr als einer halben Linie, die aber dem Willen unterworfen wären, für das Bedürfniss der Accommodation ausreichen würden. Aber selbst für so kleine Veränderungen fehlt es bis jetzt an einem ganz sichern Nachweise der bedingenden Muskelthätigkeit. Die Veränderungen in der Grösse der Pupille dagegen kennt jedermann. Man weiss, dass sie im Dunkeln sehr erweitert, aber auch bei blendendem Lichte auf einen äusserst geringen Umfang zusammenzieht. Bei genauerer Betrachtung hat man ferner bemerkt, dass das Lichtloch allemal verengert wird, wenn man den Blick auf einen entfernten Punct richtet, dagegen sich verengert, sobald man einen ganz nahen Gegenstand ansieht. Um die Bedeutung dieser Veränderungen richtiger beurtheilen zu können, halte man einen kleinen Gegenstand so vor das Auge, dass seine Umriss verschwimmen. Man betrachte ihn dann in derselben Nähe durch eine enge Oeffnung, z. B. einem Kartenblatt, man wird jetzt ein zwar sehr lichtschwaches, aber doch deutliches Bild erhalten. Offenbar haben sich die von einem

Punkte diesseits der deutlichen Sehweite angegangenen auf der Netzhaut noch nicht in einem Punkte wieder vereinigen können. Doch ist die Stelle, welche sie treffen, in der am stärksten erhellt, während sich nach dem Rande hin Lichtkreise, die sogenannten Zerstreuungskreise, befinden. Die künstliche Verengerung der Pupille mit Hilfe des Kart wurde die Breite des einfallenden Lichtkegels und folglich die Grösse des beleuchteten Flecks auf der Netzhaut vermindert, die Umrisse des Bildes konnten daher deutlicher hervortreten.

Man denke sich nun ein Auge im natürlichen Zustande, das deutliche Sehen in der Entfernung von etwa 12 — 18 Zoll gepasst, so wird dasselbe Auge auch noch in etwas grösserer z. B. in 8 Zoll Entfernung, allein schon durch Verengerung der Pupille, deutliche Bilder gewinnen. Ein Auge, das in so grossen Abstand gut sieht, bedarf auf weiterhin keiner besonderen Accommodation, weil in diesem Falle die Netzhaut dem Brennpunkte nahe gerückt ist, dass die durch einen entlegeneren Punkt wirkenden, gewöhnlich sehr lichtschwachen Zerstreuungskreise nicht mehr empfunden werden.

Die Wirkung der Zerstreuungskreise lässt sich durch ein Experiment, nach dem Pater Scheiner benannt, sehr lehrreich und auch sehr anschaulich machen. Man steche in ein Kartenblatt eine Nadel zwei Löcher, ungefähr auf 1 Linie Abstand voneinander, und betrachte durch dieselben mit dem einen Auge, während das andere geschlossen ist, in der Entfernung der deutlichen Sehweite, eine Nadelspitze, man wird sie einfach sehen, wie mit freiem Auge. So wie man sie aber näher rückt, d. h. trübsüchlich entfernt, erscheint ein doppeltes, lichtschwaches Bild. Verdeckt man das eine Loch, z. B. das zur Rechten, durch Verschieben eines scharf abgeschnittenen Papiers, so verschwindet das eine Bild und zwar im ersten Falle, wenn die Nadel der deutlichen Sehweite gehalten wird, das linke, im andern Falle das rechte.

Es sei o (Fig. 291) der optische Mittelpunkt des Auge



betrachtete Nadelspitze; das von ihr aus durch die Öffnung m und n des Kartenblattes einfallende Licht würde sich erst in

en können, und trifft daher die Netzhaut in a und b einander getrennten Stellen, obschon innerhalb des r Zerstreuungskreise, die sich bei Entfernung des erzeugen müssten. So entsteht der Eindruck von 1 , von welchen das eine in der Richtung der Linie bo tischen Mittelpunct, also in s' , das andere in der Richtung ao , also in s'' aufgesucht wird. Es ist nun leicht 1 , warum durch Bedecken der Oeffnung m nicht das ern s'' verschwinden muss. Auch begreift man, wadas Umgekehrte eintritt, wenn das Licht von einem 1 Punkte einfiel, und die Strahlen ihren Vereinigungspunkte vor der Netzhaut gefunden hatten.

heiner'sche Versuch lässt sich als ein sehr scharfes tel des Anpassungsvermögens benutzen. Man halte vor einander, die eine in der Gränze der deutlichen e andere im doppelten oder dreifachen Abstände, und uge so, dass beide Nadeln fast in die Axenlinie fallen. an dann die nähere durch die Oeffnungen des Kartenuss sie einfach, dagegen die entferntere doppelt erlicht man hierauf die entferntere an, so muss sich 1 , aber die nähere doppelt zeigen. Da bei diesem Veritwirkung der Pupille ganz ausgeschlossen ist, so 1 nur solchen Personen gelingen, welche ein von den en der Pupille unabhängiges Anpassungsvermögen er Verfasser gehört nicht zu diesen und kann daher 1 aus eigener Anschauung nicht verbürgen.

en Personen, insbesondere bei vorgerückten Jahren, nnpunct im gelben Flecke oder selbst noch darüber ass nahe Gegenstände keine deutliche Bilder auf der vorbringen können. Es ist nun leicht zu sehen, wafehler, der Weitsichtigkeit, durch eine passend Sammellinse, ein convexes Brillenglas abgeholfen 1 . Der entgegengesetzte Fehler, die Kurzsichtight, wenn die von entfernten Gegenständen ausgesenen ihre Vereinigungspuncte schon vor der Netzhaut geeignete Zerstreuungslinse vor das Auge gehalten, ie Convergenz der Strahlen, und bringt dadurch die spuncte auf die Netzhaut.

ände welche über die deutliche Sehweite hinaus lieen gewöhnlich, auch in dem gesundesten Auge, keine en Bilder; allein die Zerstreuungskreise sind, wie kt wurde, von geringem Umfange und dabei gewöhnwach. Sie bringen daher keinen Schaden. Stammt icht von sehr glänzenden Lichtquellen ab, so wird beh der Einfluss der Zerstreuungskreise fühlbarer. Von

.....

Das Auge vermag die von einem beliebigen Licht gehenden Strahlen, auch bei der besten Accommodation niemals absolut in einem mathematischen sammeln. Daraus folgt dann von selbst, warum die Sehens in allen Fällen begränzt ist. Erfahrungsmässere Fähigkeit, die Gestalt eines Körpers zu untersch wenn uns derselbe, gleichgültig in welcher Entfernung einem Sehwinkel von weniger als $\frac{1}{2}$ Minute erschein können Gegenstände noch unter viel kleineren Winkel gesehen werden. Dies hängt von dem Glanz ab.

Lebhafte Lichteinwirkungen, die längere Zeit dauerten, Auge gegen gleichartige aber schwächere Eindrücke abzustumpfen es darum seine Empfänglichkeit gegen andere Lichteindrücke verman z. B. eine glänzend weisse Fläche, auf welche ein schwarz getragen ist, einige Zeit scharf an, und wendet dann das Aug dunkle Wand, so prägt sich auf derselben Stelle der Netzhaut Fläche mit weissem Kreuze aus. Hat man längere Zeit eine g von lebhafter Färbung angesehen und richtet dann das Aug weisse Wolke oder ein weisses Papier, so glaubt man darat Scheibe zu erblicken. Weil nämlich das Auge gegen die grüne stumpft war, so erhält ihre Complementärfarbe* zu Weiss c wicht.

Eine andere Gattung subjectiver Farbenercheinungen bilden nannten Contrastfarben. Schneidet man von ein und den Papieren drei Stücke ab, legt dann das eine auf eine roth andere auf eine blau, das dritte auf eine gelbe, so macht den Eindruck seiner natürlichen Färbung, das zweite scheint Zusatz von gelb, das dritte einer Zusatz von blau erhalten z jedem Streifen tritt nämlich derjenige Farbenton, durch welchen der Umgebung unterscheidet, am lebhaftesten hervor. Aus dem erhält Violett auf blauer Unterlage einen Stich ins Rothe; Orangeigt sich zu gelb; grau auf schwarz erscheint weiss. Dabin blauen Schatten, welche die roth-gelbe Kerzenflamme in der

Wir übertragen jeden Lichteindruck sogleich nach Aussen, zu einer Quelle; hatte sich derselbe in beiden Augen an entsprechenden Stellen ausgeprägt, in beiden z. B. im gelben Flecke, so in beiden in demselben Abstände rechts oder links von der Axe, so wird uns die Richtung, in der wir seinen Ursprung aufsuchen, aus beiden Augen nach demselben Punkte des Raumes gehen. Beide Eindrücke, wenn sie an und für sich gleichartig waren, müssen sich daher zu einem gemeinschaftlichen erheben.

In der That kann man sich leicht durch den Versuch überzeugen, dass das Einfachsehen wesentlich auf der Bedingung beruht, dass gleichartige Eindrücke von entsprechenden Stellen der Licht-Empfindungsorgane zum Bewusstsein kommen. Denn wenn man die Sache so anordnet, dass das Bild eines Gegenstandes in beiden Augen an solchen Stellen der Netzhaut zum Vorschein kommt, die einander nicht entsprechen, so sieht man doppelt.

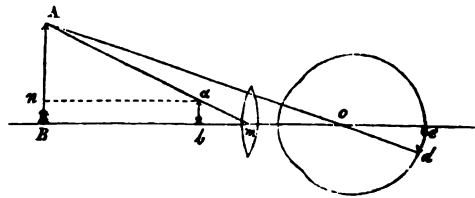
Man halte z. B. die beiden Zeigefinger in ungleichen Abständen vor die Augen, richte aber den Blick nur auf den einen, man wird den andern doppelt erblicken. Denn indem man die Sehaxen auf den einen, es sei der Nähere, richtet, erscheint das Bild des Ferneren im linken Auge rechts, im rechten links von der Axe; die Eindrücke, obschon gleichartig, lassen sich dessen ungeachtet nicht zu einem einzigen ergänzen, weil sie nicht an entsprechenden Stellen der Netzhaut aufgetreten waren. Wenn die Augen auf einem Punkte haften, also die beiden Sehaxen sich in denselben durchkreuzen, sollte man eigentlich alle übrigen Gegenstände doppelt sehen. In der Regel kommen aber diese doppelten Bilder nicht zum Bewusstsein, theils weil man sie weniger achtet, theils weil sie ausserhalb des gelben Flecks, also an ungenügenden Stellen entstehen, an welchen deutliche Bilder gar nicht mehr zu Stande kommen, theils endlich auch, weil das gebildete Urtheil die grosse Gewalt über die direkten Ergebnisse der sinnlichen Wahrnehmungen ausübt, so dass Bilder, welche, wie wir aus Erfahrung wissen, demselben Gegenstande angehören, wenn sie an scheinbaren Stellen im Raume nicht so weit auseinander liegen, in unserem Bewusstsein allmählig in einander übergehen.

Kleine Körper in der deutlichen Sehweite geben, weil beide Sehaxen aus merklich verschiedenen Stellen auf sie gerichtet sind, in beiden Augen ungleiche Bilder, welche, indem sie sich in unserem Bewusstsein in einander verweben, die drei Dimensionen der Erscheinung nur um so bestimmter hervortreten lassen. Auf diese Eigenthümlichkeit gründet sich das von Wheatstone erfundene Stereoscop. Man kann mit dieser Geräthschaft zeigen, dass

deutlichen Sehweite noch wahrgenommen werden zu können. Wenn das Auge näher rückt, so vergrößert man zwar ihren Sehgewinn zugleich an Licht; aber die Bilder fallen jetzt auf die Netzhaut. Durch eine Convexlinse von hinlänglich Kraft, die man nahe vor das Auge, den einfallenden Strahl gegenhält, lässt sich das Bild auf die Netzhaut zurück dadurch sichtbar machen; oder wenn es vorher sehr klein war, so erblickt man es jetzt in schärferen Umrissen vergrößert. Jede Sammellinse, zu diesem Zwecke gefügt, ist ein einfaches Mikroskop oder auch eine Loupe. Je näher ihre Brennweite, also je stärker ihr Ablenkungsvermögen, näher kann man den Gegenstand vor das Auge bringen; je mehr erscheint er vergrößert. Damit er aber zugleich wie möglich gesehen werden könne, muss er in eine solche Entfernung gebracht werden, dass die in der Linse gebrochenen Strahlen der deutlichen Sehweite herzukommen scheinen.

Es sei o (Fig. 292) der optische Mittelpunkt der Linse, ab der Gegenstand, in eine solche Entfernung

Fig. 292.



und Linse gebracht, dass die von ihm ausgehenden Strahlen von einem grösseren Gegenstande AB aus der deutlichen Sehweite herzukommen scheinen. In Folge dieser Ri-

der deutlichen Sehweite (D), bm nahe der Brennweite (p) Linse. Die lineare Vergrößerung entspricht daher dem Quotienten $\frac{D}{p}$, der deutlichen Sehweite durch die Brennweite.

Bei der Sehweite von 8 Zoll wird z. B. eine Loupe von 4 Zoll Brennweite eine Vergrößerung bis zum $\left(\frac{8 \cdot 12}{4} = 24\right)$

undzwanzigfachen gewähren können, wenn das Glas sehr nahe vor das Auge gehalten wird. Ein Kurzsichtiger, dessen Sehweite nur 4 Zoll beträgt, wird mit derselben Linse nur die Hälfte der Vergrößerung erhalten.

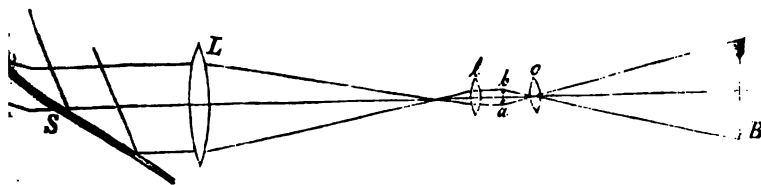
Das einfache Mikroskop kann auch aus zwei und mehreren Linsen gebildet sein, die dann in derselben Fassung nahe hinter einander stehen. Sie sind wenig gekrümmt, vertreten aber zusammen genommen die Stelle einer sehr convexen, also stark vergrößernden Linse. Man verschafft sich auf diese Weise ein größeres Gesichtsfeld, ohne in gleichem Grade wie bei einer einzigen convexen Linse von gleicher vergrößernder Kraft durch die spärliche Lichtbeugung belästigt zu werden (565). Mehr als drei oder vier Linsen wendet man nicht leicht zusammen an.

Wenn eine Loupe auf beiden Seiten ungleiche Krümmungen hat, so wendet man die schwächere gegen das Object.

570. Das Sonnenmikroskop und Lampenmikroskop. Bildet sich ein kleiner Gegenstand jenseits des Brennpunctes einer Sammellinse, so kann er bei hinreichender Beleuchtung ein vergrößertes Bild auf einen weissen Schirm auf der andern Seite der Linse werfen.

Als Lichtquelle benutzt man die Sonnenstrahlen, welche, wie Fig. 293 angedeutet ist, mittelst eines Spiegels ausserhalb des

Fig. 293.



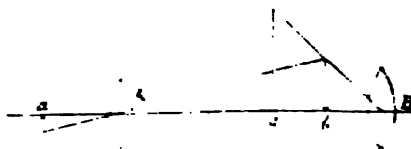
Winkeln Zimmers aufgefangen und dann mit Hilfe der Linsen L auf das Object ab geleitet werden. Anstatt der Sonne kann auch Lampenlicht oder besser das Licht eines in der Wasser-

um so weiter kann man den Schirm fortücken. Ab-
 mindert auch die Helligkeit des Bildes, umgekehrt w
 der hueren Vergrößerung.

Die Zaubervlaterne (laterna magica) ist ein
 Mikroskop, bestimmt, kleine Gemälde auf Glas in se
 vom Maasstade auf einer weissen Fläche darzustellen

211. Das zusammengesetzte Mikrosco
 als eine Verbindung des Sonnenmikroskops mit
 Mikroskop ansehen. Das durch eine Sammellinse
 das Objectivglas, hervorgebrachte schon sehr verg

Fig. 294.



liche Bild (*b*) eines stark beleuchteten Objects (*a*),
 zweiten Linse (*B*), dem Ocularglase, in die
 weite (nach *c*) geworfen und *s* in neuer Verg
 trachtet. Die erste Vergrößerung $\approx \frac{f_b}{f_a}$, die z

die ganze Vergrößerung also beträgt: $\frac{f_b \times Bc}{f_a \times Bb}$

f_a und *f_b* verwechseln sich wenig von den Bren
 den-Linsen: *Bc* ist die deutliche Sehweite und *f*

enge Grenzen eingeschlossen, da eine grosse Länge den Versuch erschwert. Bei gleicher Länge des Mikroskops kann man seine vergrössernde Kraft dadurch vermehren, dass man Linsen von kürzerer Brennweite anwendet; und dieses Mittel wird hauptsächlich benutzt.

Als Objectiv dient eine oder je nach dem Bedürfnisse der Vergrösserung auch mehrere in derselben Fassung verbundene achromatische Linsen. Das Ocular ist gewöhnlich nicht aus Kronglas und Flintglas zusammengesetzt, sondern besteht aus einer eigentlichen Ocularlinse in Verbindung mit einem sogenannten Collectivglase. Letzteres erhält eine solche Stellung, dass es durch das Objectiv O (Fig. 295) gegangenen Strahlen auffängt, bevor sich dieselben zu dem Bilde a' vereinigen konnten. In Folge

Fig. 295.



hierdurch vermehrten Convergenz der Strahlen, wird das Bild der Stelle a' , also in geringerem Abstände von dem Objectiv erzeugt. Die auf die Collectivlinse fallenden Strahlen, weil sie durch das achromatische Objectiv gegangen waren, sind farbfrei. In der Linse C entsteht aber wieder Farbenzerstreuung. Von dem bei e einfallenden Strahle Oe wird der blaue Theil stärker gebrochen, als der rothe. Ersterer trifft aber eben desshalb das Ocular A an einer der Mitte näher liegenden Stelle, und wird dort weniger gebrochen, als der dem Rande näher fallende rothe Strahl. Bei passender Wahl und Stellung der Linsen C und A lässt es sich daher erreichen, dass der rothe und der blaue Strahl in solchen Richtungen ausfallen, wie wenn sie unmittelbar von einem und demselben Punkte (a'') her kämen. D. h. sie ergänzen sich zu farblosem Lichte. Das Ocular A ist gewöhnlich eine planconvexe Linse von nicht sehr starker Krümmung, die ohne Fläche dem Auge zugewendet ist. Die sphärische Abweichung ist bei dieser Anordnung nicht sehr bedeutend und wird überdiess durch die Fassung, welche einen grossen Theil der Ocularoberfläche bedeckt, ganz unschädlich gemacht.

Zum Gebrauche pflegt man das Mikroskop senkrecht zu stellen. Die Beleuchtung schafft man durch einen kleinen Hohlspiegel der unter dem Objectiv angebracht ist und jede Drehung gestattet. Er wird so positioniert, dass er das weisse Licht der Wolken durch Reflexion senkrecht auf das Object wirft. Dieses Mittel ist natürlich nur bei durchsichtigen Objecten anwendbar. Um undurchsichtige beleuchten zu können, muss noch ein zwei-

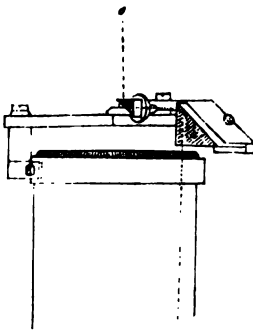
ter in der Mitte durchbrochener Hohlspiegel über dem Objecte werden, oder wenn hierzu der Platz fehlt, leitet man einen Bü eine Sammellinse concentrirter Lichtstrahlen von der Seite he Object.

Man verlangt von einem guten Mikroscope, dass es mit st grösserung doch zugleich ein möglichst, grosses Gesichtsfeld, Hei Schärfe des Bildes verbinde. Eine befriedigende Vereinigung dies zu Theil widerstrebenden Bedingungen, gehört zu den schwierig gaben des praktischen Mechanikers, deren Lösung man hauptsächlich hofer, Plössl in Wien und Amici in Modena zu verdanken h

Ein sehr gutes Hilfsmittel, den Werth eines Mikroscoops zu | wahren feine Theilungen auf Glas. Der Mechaniker Nibert in t hat zu diesem Zwecke Linien in 10 Gruppen dicht hintereinander selben Glasplatte aufgetragen, von solcher Feinheit, dass in Gruppe 1000 und in der zehnten 4000 auf die Länge einer Linie geh Schon die Linien der ersten Gruppe lassen sich nur bei ziemli Vergrößerung unterscheiden. Je mehr Gruppen mit einem Mikro lösbar sind, um so bedeutender ist seine Schärfe und vergrösse

Um die absolute vergrößernde Kraft zu messen, wird ein Theilung auf Glas als Object be

Fig. 296.



ihre vergrössertes Bild mittelst d lucida auf einen in der deutliche aufgestellten, am besten auf wei aufgetragenen, guten Massstab gew sehr einfach eingerichtete, zu dies brauchbare camera lucida, welch jedem Mikroskop angebracht wei ist in Fig. 296 abgebildet. Sie l zwei rechtwinklich geschliffenen (von welchen das kleinere beim unmittelbar über dem Oculare, Seite der Axe schwebt, das grö: seitwärts vom Rohre des Mikro: dem Massstabe hängt. Die von aus der deutlichen Sehweite kommer len, in der Hinterfläche des grosse zum erstenmal reflectirt, gelangen

zweiten Reflexion im kleinen Prisma zum Auge, und bewirken das vergrösserte Bild und das des Massstabs auf der Netz decken.

Es gibt Mikroskope welche eine 1000fache und selbst 1700 grösserung zulassen. Bei der wirklichen Benutzung geht man s die 300fache. Um die lineare Ausdehnung kleiner Objecte zu m man mehrere Hilfsmittel. Eins der einfachsten besteht darin, ein f meter (eine feine Theilung auf Glas, z. B. 50 Theilstriche auf el ter) in den Brennpunct des Oculars zu setzen; zu welchem Zwei Mikroscoops von Plössl die nöthige Vorkehrung getroffen ist. Ma dann das auf dem Object-Tische befindliche, durch die ganze Mikroscoops vergrösserte Object zwischen einer Anzahl Theilstrich durch die Ocularlinse vergrössert gesehenen Masses eingegränzt. l nun zuvor ein zweites Glasmikrometer von bekannter Theilung an des Objects gebracht, und das Verhältniss beider Theilungen in grösserung verglichen, so lässt sich danach leicht die Grösse an Objecte beurtheilen.

Umsetzt beide Mikrometer haben einerlei Theilung, und unter d scope gesehen, fallen 30 Theilstriche des oberen je in den Zwei

zwei Theilstrichen des unteren, so würde man dadurch erfahren, dass Objectivlinse allein eine 30malige Vergrößerung bewirkt.

Feinere Messungen als nach der beschriebenen Methode, dürften mittelst Schraubenmikrometers zu erreichen sein, welches neuerdings bei den Jacopen von Kellner so angebracht ist, dass es in der Brennweite der Oculare einen wagerecht gespannten Spinnfaden mit sich selbst parallel ziehen kann.

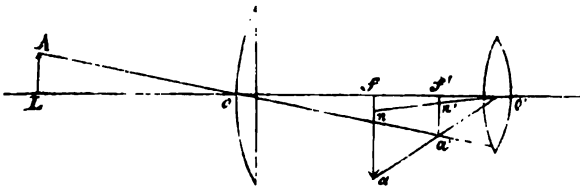
Ein ebenfalls recht zweckmässiges Verfahren hat Dr. Welker in Übung gebracht. (Benle und Pfeufer Zeitschr. X. 1 und 221.)

Vorzügliche Mikroskope bezieht man gegenwärtig von Plössl in Wien, Leck in Berlin, Oberhäuser in Paris. Auch Kellner in Wetzlar, be-
 & durch seine vortrefflichen achromatischen Oculare, verfertigt seit
 am Mikroskope von ausgezeichnete Güte.

572. Das Fernrohr (Astronomische Fernrohr). — Weit
 eigene Gegenstände, von welchen Licht auf eine Sammellinse
 , erzeugen hinter derselben, in der Nähe des Brennpunctes,
 , etwas weiter hinaus, verkleinerte und verkehrte Bilder.
 in camera obscura werden diese Bilder auf eine weisse Wand
 orfen und unmittelbar betrachtet. Gehen aber die durch die
 oexlinse gesammelten Strahlen durch ein cylindrisches Rohr
 bringt man in der Nähe der Stelle, wo das verkleinerte Bild
 teht, eine Loupe an, so dass das Bild innerhalb ihrer Brenn-
 e zu liegen kommt und folglich durch die Loupe wieder ver-
 ert und in der deutlichen Sehweite erblickt werden kann, so
 it man das Fernrohr in der ursprünglichen Gestalt, welche
 elben von seinem Erfinder, Kepler, gegeben worden

Das Fernrohr besteht also, gleich dem Mikroskope, wesent-
 aus zwei Convexlinsen, von welchen die eine als Objectiv, die
 re als Ocular dient, und deren optische Axen genau in der-
 en geraden Linie zusammenfallen.

Fig. 297.



Der entfernte Gegenstand AL (Fig. 297) erzeugt hinter der
 o das Bild $f'a'$, welches durch die zweite Linse o' betrach-
 bei fa zu liegen scheint. Der Punkt f' liegt von dem Ob-
 rglase nur ein geringes weiter als sein Brennpunct; dem
 rglase liegt er um ein wenig näher als dessen Brenn-
 t. Der Abstand oo' beider Linsen ist daher fast genau gleich
 lumme beider Brennweiten.

Durch das Fernrohr werden die Gegenstände genähert und

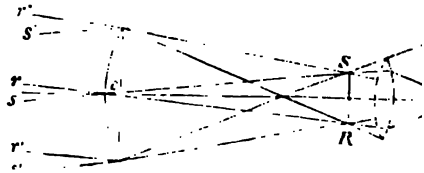
$$\frac{l'''}{f''} = \frac{l''}{f'} = \frac{l'}{f},$$

das gesuchte Grössenverhältniss beider Bilder.

Da nun f'' als Brennweite des Objectivs, f' die Brennweite des Oculars genommen werden kann, so sieht man, dass die lineare Vergrösserung dem Quotienten der Brennweiten des Objectivs, dividirt durch diejenige des Oculars nahe g

Die Anforderungen an ein gutes Fernrohr sind: Vergrösserung: Deutlichkeit der Bilder, Helligkeit und möglichst grosses Gesichtsfeld. Ehe man mit den Mitteln die Farbenzerstreuung zu beseitigen, wusste man und zugleich möglichst farbenfreie Vergrösserung zu erzielen, dass man Objectivlinsen von geringer Krümmung und sehr grosser Brennweite anwendete. Das Rohr muss bedeutende Länge erhalten. Zum Transport war es unbar und in der Handhabung höchst unbequem. Durch die Anwendung achromatischer Objective ist es gelungen, farbige Bilder zu erhalten, die nun auch mit convexeren Objectivlinsen trachtet werden dürfen. Dadurch ist es möglich, solche Instrumenten, die ihrer Bestimmung nach eine viel geringere Länge zu geben und die eine friedigender Deutlichkeit ziemlich bedeutende Vergrösserung hervorzubringen.

Fig. 298.

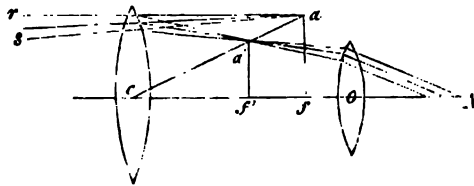


schon eine solche Richtung, als kämen sie aus der deutlichen Sehweite her. Die vortheilhafteste Stellung für das Auge, um sie in möglichst grosser Menge aufzunehmen, ist der Punct A , der Kreuzungspunct der Hauptstrahlen. Denn in dieser Gegend der Axen fallen alle Strahlen aus dem ganzen Umfange des Sehfeldes zusammen.

Die Grösse des Sehfeldes ist durch die Öffnung des Oculars beschränkt. Sollen alle von einem entfernten Gegenstande auf das Objectiv gerichteten Strahlen das Ocular erreichen, so darf (wie man durch den Blick auf Fig. 298 leicht verständlich macht) das Bild die Ausdehnung RS nicht überschreiten. Bedeckt man einen Theil der Objectivlinse, so dass die am Rande einfallenden Strahlenbündel zurückgehalten werden, so vermindert sich eben dadurch das Sehfeld. Je convexer die Linse ist, je mehr sie vergrössert, um so mehr muss sie gedeckt werden, um die chromatische und sphärische Abweichung unschädlich zu machen, um so kleiner wird dadurch das Gesichtsfeld.

Die Farbenzerstreuung, welche durch das Ocular selbst herbeigeführt wird, pflegt man dadurch zu vermeiden, dass man demselben in ganz ähnlicher Art wie bei den Mikroskopen eine Collectivlinse beigibt. Das in dieser Weise zusammengesetzte Ocular bildet nicht nur farbenfreie Bilder, sondern vergrössert auch das Gesichtsfeld. Es sei af (Fig. 299) das erste Fernrohrbild; ras der durch den Punct a gerichtete Lichtbündel. Alle diese Strahlen würden für das Ocular verloren gegangen sein. Indem sie aber, noch bevor sie sich vereinigen konnten, von der Linse c aufgefangen

Fig. 299.



und gegen a' gelenkt wurden, treffen sie die Linse o , und können so zum Auge gelangen.

Seit Kurzem ist es dem Mechaniker Kellner in Wetzlar gelungen, ein ungefähr gleich grosses Gesichtsfeld, und besonders gegen den Rand hin schärfere Bilder mit Hülfe von Doppellinsen aus Flintglas und Crownnglas zu erreichen.

Die Stelle SR (Fig. 298), an welcher das Bild entsteht, das man durch die Ocularlinse betrachtet werden soll, ist im Innern des Fernrohrs durch eine Verengung angezeigt, die gerade nur so viel Raum lässt, als für den Umfang des Bildes nothwendig ist. In dem astronomischen Fernrohr zwei Spinnenfäden

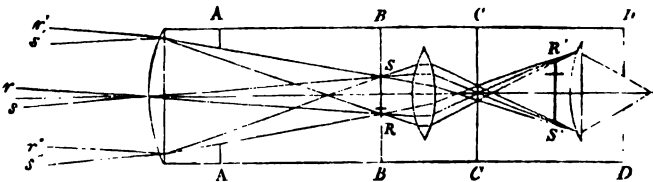
ausgespannt, die sich rechtwinklich durchkreuzen und das Fadenkreuz genannt werden. Das Auge erblickt sie zugut dem Bilde in der deutlichen Sehweite, so dass sie dienen, Aenderungen in der Lage des Bildes wahrzunehmen.

Die vergrößernde Kraft eines Fernrohrs lässt sich bestimmen, dass man es auf einen entfernten Massstab und die so vergrößert gesehene Theilung mit einer zweiten vergleicht, die man in der deutlichen Sehweite mit dem Auge betrachtet.

Von dem astronomischen Fernrohr (Telescop) unterscheidet sich das Erdfernrohr dadurch, dass man durch dasselbe Gegenstände in ihrer natürlichen Stellung erblickt. Man erreicht dies durch Einschaltung einer dritten Linse oder eines Linsensystems, welches so angebracht wird, dass es mittelst des Objectivglases erzeugte verkehrte Bild wieder dreht.

Um einen ganz deutlichen Begriff von der Einrichtung des Erdfernrohrs zu erhalten, denke man sich, dass das durch das Objectivglas - Bild RS (Fig. 300) nicht durch ein einfaches, sondern durch ein zusammengesetztes Mikroskop dargestellt werde.

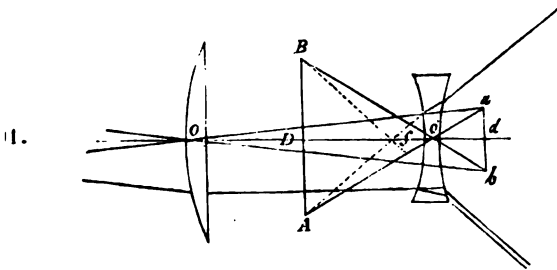
Fig. 300.



Es ist begreiflich, dass die verschiedenen Einflüsse auf die Deutlichkeit beeinträchtigen, mit der Zahl der angewandten Linsensysteme zunehmen müssen. Man sucht daher die Strahlen und überhaupt alles störende Licht mit Hilfe von Blenden abzuhalten, welche bei den dioptrischen Instrumenten denselben Dienst leisten, wie die Iris bei dem menschlichen Auge. Die Hauptblendung des Erdfernrohrs befindet sich in der Ebene CC . Es ist eine durchbrochene Scheibe an der Durchkreuzungsstelle der Axenstrahlen, welche, wie man sieht, gerade die gleiche reichende Oeffnung hat, um alles brauchbare Licht, das in einem sehr engen Raume zusammenzieht, durchzulassen. Andere durchbrochene Scheiben, wie AA , BB , DD wirken auf ähnliche Weise. Um schädliche Reflexe im Innern des Rohrs zu vermeiden, ist es geschwärzt.

573. Das Galileische oder Holländische Fernrohr.

das Erdfernrohr, aufrecht stehende Bilder. Die von einem Gegenstande ausgehenden und in der Objectivlinse gebrochenen Strahlen werden, noch ehe sie sich in ab (Fig. 301) zu vereinigen konnten, von einer Zerstreuungslinse aufgedeutet. Dadurch aufs Neue gebrochen werden sie, wenn der Abstand der Linse vom Punkte d etwas mehr beträgt als ihre Brennweite, divergirend gemacht und so geleitet, als kämen sie von einem weit entfernten Gegenstande. Sie gewähren dann dem vor der Linse stehenden Auge den Eindruck eines aufrecht stehenden, vergrößerten Bildes.



Die Hauptstrahlen oa und ob erhalten durch die Ablenkung in der Zerstreuungslinse ein scheinbares Durchkreuzungspunkt f , dessen Abstand von der Linse O weniger als ihre Brennweite beträgt und aus der Gleichung $\frac{p \cdot oo'}{oo' + p}$ (No. 563) gefunden wird. Sie erhalten also eine solche Divergenz, als kämen sie von einem weit entfernten Gegenstande her. Wenn sie sich hinter der Linse in den Linien Af und Bf schneiden, erklärt sich die Umkehrung des Bildes ab . Um die Abstände $o'd$ zu bestimmen, bemerke man dass die auf die Linse treffenden Strahlen in ihrer Richtung nach dem Bilde ab angehören, dass aber der Abstand $o'd$ die entgegengesetzte ist. Will man sich daher den Abstand d als Ausgangspunkt der Strahlen vorstellen, welche auf der Zerstreuungslinse O' in der Richtung gegen d einfallen, so muss man die Brennweite $f = -\frac{p \cdot l}{l + p}$ den Werth $l = o'd$ negativ setzen. Es

$$f = o'D = -\frac{p \cdot o'd}{o'd - p}.$$

Es geht hervor, dass das Bild im Abstände $o'D$ nur so lange negativ bleibt, als $o'd$ an Grösse die Brennweite p der Linse O' übersteigt. Der Abstand oo' beider Linsen ist also nahe gleich dem Unterschied der Brennweiten, jedoch immer etwas geringer.

Der Gegenstand erscheint dem freien Auge unter dem Sehwinkel $ao'b$, unter dem Sekwinkeln $ao'b$. Die Vergrößerung ist daher annähernd gleich dem Verhältnisse $\frac{od}{o'd}$, nämlich die Brennweite des Objectivs dividirt durch die des Oculars, ausgedrückt.

Das Galileische Fernrohr scheint von einem holländischen Optiker um 1608 erfunden worden zu sein. Bald darauf hat es Galilei zur Beobachtung der Himmelskörper benutzt. Gegenwärtig wird es hauptsächlich als Opernglas angewendet. Bei den bedeutenderen Vergrößerungen wird es als Opernglas angewendet. Bei den bedeutenderen Vergrößerungen wird es als Opernglas angewendet.

rungen nimmt sein Sehfeld ungemein ab, weil das Auge der gänzl. Stellung, nämlich dem Kreuzungspuncte f der Hauptstrahlen zu weit entrückt ist.

574. Das Spiegeltelescop oder Katoptrisches Fernrohr gründet sich auf die Eigenschaft sphärischer Hohlspiegel in der Nähe ihres Brennpunctes, das Bild entfernt liegender Gegenstände hervorzubringen. Dieses Bild wird dann von dem Auge oder bei sehr grossen Spiegeln auch von Vorne mit einem einfachen Mikroscope betrachtet. Eine grosse Berühmtheit hat Herschel'sche Spiegeltelescop erlangt, dessen Spiegel 4 Fuss Brennweite, 4 Fuss Durchmesser hat. Da die Spiegel farblos sind, so waren die Spiegeltelescope höchst wichtige Instrumente, so lange man die Kunst nicht verstand, dioptrische Fernrohre mit achromatischen Objectiven von grosser Oeffnung zu verfertigen. Gegenwärtig werden sie aber wenig mehr gebauet.

V o n d e m L i c h t e .

Zweite Abtheilung.

575. Die Erscheinungen der Fortpflanzung des Lichts, Reflexion, Brechung und Farbenzerstreuung, deren Gesetze in dem vorhergehenden Abschnitte vorgetragen worden sind, weisen aufs bestimmteste, dass die Lichtwirkungen, gleich der Wärme, eines materiellen Trägers von äusserster Feinheit bedürfen. Hinsichtlich der Natur des Lichts, welches die Uebertragung der Lichteindrücke auf die weiteste Entfernung hin und mit einer Geschwindigkeit gestattet, welche jede irdische Abmessung nur als kleiner Bruchtheil erscheint, herrschte lange Zeit eine Meinungsverschiedenheit unter den Physikern. Es entstanden zwei Hypothesen, welche die Grundlage der Lichterscheinungen aufgestellt, eine materielle und eine ethereale Entwicklung zulassen.

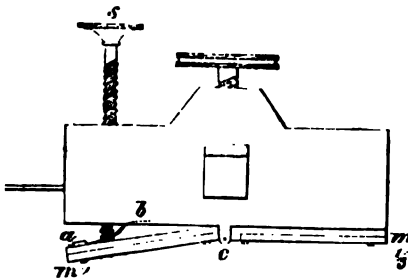
Nach der einen, der Emanationstheorie, gibt es einen eigenthümlichen Lichtstoff, dessen Theilchen gleich dem Wärmestoffe unfassbar, unwägbar und in hohem Grade elastisch sind und welche von jedem leuchtenden Körper durch eine ausserordentlich grosse, übrigens hinsichtlich des Ursprungs näher nachweisbare Kraft nach allen Richtungen fortgeschickt werden. Die Annahme eines Lichtstoffes von dieser Beschaffenheit, welcher Newton Geltung verschafft hat, genügt zur Erklärung aller bisher beschriebenen Lichterscheinungen. Von andern aber, zu deren Betrachtung wir jetzt übergehen, gibt sie nicht in gleich befriedigender Weise Rechenschaft ab.

ist sie ganz unerklärt. Sie hat daher in der neueren Optik gegeben werden müssen*).

In der andern Hypothese, der Undulationstheorie oder Wellentheorie (Wellentheorie) wird das Licht ähnlicher Schall durch Schwingungen erzeugt und seine Fortbewegung geschieht durch Wellenbewegung in einem äusserst elastischen Fluidum, dem Aether, welcher den ganzen Raum ausfüllt und die Poren aller Körper durchdringt. Die Wellentheorie ist zuerst von Huyghens entwickelt und später von Euler vertheidigt worden. Sie blieb indessen lange ungenutzt, bis sie in den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts durch die Forschungen Young's und hauptsächlich Fresnel's weiter ausgebildet wurde. Sie gibt in ihrer gegenwärtigen Ausbildung nicht nur von den meisten und darunter vielen in der Natur vorkommenden Lichterscheinungen eine einfache, ungenügende Erklärung, sondern hat auch den Schlüssel zu zahlreichen Entdeckungen im Gebiete der Optik geliefert.


Interferenz des Lichtes. — Den Ausgangspunkt der neueren Entwicklung der Wellentheorie des Lichtes bildet die von Fresnel beobachtete Thatsache, dass zwei Lichtstrahlen, welche von einem Lichtpunkte ausgegangen, nachdem sie sich lange Wege zurückgelegt haben, wieder in einem Punkte zusammentreffen, sich in ihrer Wirkung daseibst aufzuheben, oder mit andern Worten: dass sie an dieser Stelle Dunkelheit

Fig. 302.



hervor zu bringen vermögen. Man nennt diese Erscheinung die Interferenz des Lichtes. Fig. 302 zeigt die Einrichtung des Apparates, mit dessen Hilfe Fresnel dieselbe hervorbrachte. Zwei Spiegel m, m' von schwarzem Glase, in Rahmen von starkem Messing gefasst, stossen

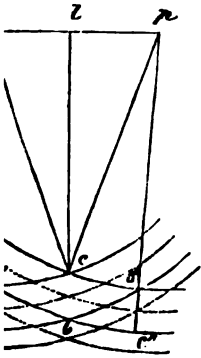
* Ausführliche Darstellung der Newton'schen Lichttheorie findet man in Newton's Optik; in Herschels Lehre vom Lichte, Uebersetzung von Schmidt S. 266 bis 296; so wie in Biots Lehrbuch der Optik, deutsche Bearbeitung von Fechner.



von 100° nur wenig abweicht, gegen einander geneigt ihres Trägers so gerichtet, dass die Kante c werden von den wagrecht einfallenden Strahlen punctes f (Fig. 1. Pl. VI) getroffen und werfen zurück, als wenn sie von den Puncten p und p' , wider Spiegel - Bilder des leuchtenden Punctes f bezogen wären. Gesetzt ferner, es diene als Lichtquelle eine Lichtlinie, wie man sie erhält, wenn man einen Spalt im Laden eines dunkeln Zimmers eine Linse aufstellt. Man lasse, um homogene Strahlen das Licht etwa durch ein rothes Glas gehen, und sei sich die zurückgeworfenen Strahlenbüschel kreuzen auf einer Tafel, so erblickt man in der Mitte des beleuchteten einen hellen Streifen, der auf beiden Seiten von dunkeln begrenzt ist, auf welche dann wieder abwechselnd dunkle Streifen in grösserer Anzahl folgen.

Diese Erscheinung, welche nach der Emanationstheorie unerkklärbar ist, wird sogleich verständlich, wenn man Lichtstrahlen als ein System von Wellen denkt, die in vorliegenden Falle in concentrischen Kreisen um die Punkte p' verbreiten. Wenn in der Figur die ausgezogenen positiven, die punktirten die negativen Wellenhälften entsprechend, z. B. den Wellenbergen und Wellenthälern, so ist klar, dass in jedem Punkte ein verstärktes Licht gesehen werden muss, da je zwei negative Wellenhälften sich in ihrer Wirkung aufheben. Dasselbe wird in allen Punkten der Linien $a'b'$, sein. Dagegen in allen Punkten der Linien $rs, r's$ begegnen sich in jedem Augenblicke Wellen von gegengesetzter Phase, was eine völlige Aufhebung des Lichtes bewirkt.

Fig. 303.



einer Lichtwelle nach der Formel $b'b''c'' = b'b'' \sin. \alpha$ berechnen, wenn man den Abstand $b'b''$ der ersten hellen Seitenfransen und den Winkel $2\alpha = b'b'c = p'c'p'$ in dem Dreiecke cpp' gemessen hat. Fresnel hat, um den Abstand $b'b''$ genau zu ermitteln, eine Loupe so in den Weg der zurückgeworfenen Strahlenbüschel gestellt, dass ihr Brennraum an die Stelle fiel, wo zuvor die weisse Tafel stand. Hier war zugleich ein feiner Verticalfaden so ausgespannt, dass er mit der Loupe durch eine Mikrometerschraube in horizontalem Sinne verschoben und die Verschiebung genau gemessen werden konnte. Bei Anwendung von homogenem Lichte aus verschiedenen Theilen des Spectrums ersehen wir, dass die Fransen um so dichter zusammenrücken, je brechbarer das angewendete Licht war. Die Wellenlänge des blauen Lichtes ist demnach kleiner, als die des rothen. Da man unter Wellenlänge den Weg zu verstehen pflegt, welchen sich die Bewegung während einer vollen Schwingung eines oscillirenden Theilchens fortpflanzt, so ist das Verhältniss der Wellenlängen auch das der Oscillationsdauer der Theilchen, welche verschiedenfarbiges Licht fortpflanzen; wenn unter der Voraussetzung, dass Lichtstrahlen aller Art die gleiche Geschwindigkeit besitzen. Die Wellenlänge eines gewissen Lichtstrahls beträgt z. B. 0,00064 Millimeter, die eines violetten Lichtstrahls 0,00040 Millimeter. Da das Licht in der Sekunde 300 000 000 Meilen, oder $41518 \cdot 7420,7 \cdot 1000$ Millimeter durchläuft, so vollendet ein Aether-Theilchen, während es rothes Licht fortpflanzt, etwa 480 Billionen, ein Theilchen, welches violettes Licht fortpflanzt, etwa 770 Billionen Schwingungen in der Sekunde. Den äussersten Gränzen des Spectrums entsprechen die Wellenlängen von 0,00070 und 0,00035 Millimeter oder 440 Billionen und 880 Billionen Schwingungen in der Sekunde. Dieses Verhältniss der äussersten Farbenstrahlen ist demnach dasjenige des rothen Lichts zur Oktave bei den Tonschwingungen. In dem Blick auf Fig. 1. Pl. VI lehrt, dass alle Punkte der ersten hellen Fransen Räume, links und rechts von dem mittelsten Lichtstreifen angehören, in welchen der Unterschied der Wege, den die Lichtstrahlen von b und b' an gerechnet, einer halben Wellenlänge gleichkommt. Ueberhaupt fallen die hellen Fransen an die Stellen, für welche jener Gangunterschied eine gerade Anzahl halber Wellenlängen, d. i. eine beliebige Anzahl ganzer Wellenlängen beträgt, während die dunkeln Fransen den Punkten entsprechen, an

welchen der Unterschied der Wege eine ungerade halbe Länge ausmacht. Bei einer Franse der nämlichen Ordnungser Unterschied, in verschiedenen Abständen von den Spiegeln, also auch von p und p' , ein constanter. Die Stellen, in welchen man die Fransens in diesen verschiedenen Abständen antrifft, gehen daher auf hyperbolischen Aesten und auch dies hat Fresnel durch seine mikrometrischen Messungen bestätigt.

Der Abstand $b'b''$ zweier Fransens ist $= \frac{\lambda}{\sin. \alpha}$, w

Wellenlänge bedeutet. Wenn alle Umstände sonst unvariiert bleiben und man den Winkel der beiden Spiegel immer kleiner werden lässt, so wird damit α immer kleiner und die Breite der Fransens nimmt folglich zu. Das beschränkte Feld, auf welchem die von beiden Spiegeln zurückgeworfenen Strahlen sich vereinigen, wird dann nur von wenigen Fransens eingenommen. Wenn man dagegen den Winkel der Spiegel, so treten immer feiner Fransens auf, bis sie endlich auch durch die Loupe mehr getrennt gesehen werden können.

Bei Anwendung von weissem, anstatt von homogenerm Licht decken sich zwar in der Mitte der centralen Franse die verschiedenen Farbenstrahlen, allein wegen der grösseren Breiten der Streifen sind die ersten dunkeln Linien nach Innen säumt und auf der äusseren Seite bilden die der Mitte liegenden hellen Linien der brechbareren Strahlen einen Saum. Noch mehr sieht man die Farben bei den beiden Fransens auseinander treten. Indessen sind diese Säume sehr stumpfem Winkel der Spiegel breit genug, um in die Mitte zu fallen.

Statt der Fresnel'schen Spiegel kann man sich zur Beobachtung der Interferenzerscheinung auch eines Doppelprismas bedienen, welches von drei ebenen brechenden Flächen begrenzt wird, deren zwei sich unter einem sehr stumpfen, von zwei anderen unter wenig verschiedenen, Winkel schneiden. Die Erscheinung wie sie sich vor einem der schmalen Lichtlinien entgegengesetzt zeigt, war bereits Newton bekannt.

577. Geradelinige Fortpflanzung und Beugung des Lichtes. — So lange das Licht sich ungehindert verbreiten kann, und weder Zurückwerfung noch Brechung eintritt, so tritt man einen Lichtpunct immer in der Richtung der geraden Fortpflanzungslinie mit dem Auge. Diese Erfahrung scheint auf der Annahme zu beruhen, dass das Licht aus Wellen besteht, in welchen jeder einzelne Punct wieder als ein Wellenmittelpunct angesehen werden kann, zu harmonisiren Huyghens hatte diese Betrachtungsweise, wonach schwingende Aethertheilchen als der Mittelpunct einer sek

aufheben kann. Ein Gleiches findet für die Wellentheile in Nähe von m' statt; daher \mathcal{A} nur in der Richtung $\mathcal{A}mCm'$ welches Licht empfängt. Ist die Schwingungsgeschwindigkeit welcher die Bewegung von m , und nahezu auch von r, s , in \mathcal{A} ankommt = v , so ist die Intensität des von der v Halbwelle in \mathcal{A} anlangenden Lichtes

$$J = 2v^2 (mr - rs + st - tl + ld - dh + \dots)$$

Der Werth der aufeinander folgenden Differenzen wird ringem Abstand von der Linie CA sehr klein, die Wirkung merklich. Wenn man daher einen undurchsichtigen Schirm merklicher Breite in den Weg des Strahls CA stellt, so vermag kein Licht nach \mathcal{A} zu dringen. Wird dagegen ein Draht von stets 1^{mm} Dicke parallel mit der Lichtlinie und in einiger Entfernung vor derselben, mitten durch den einfallenden Strahl ausgespannt, und sein Schatten auf einer weissen Fläche aufgefangen, so erscheint letzterer schmaler, als er nach theoretischen Bestimmungen sein müsste. Im Innern desselben sieht man schwach leuchtende Streifen, getrennt durch dunkle und sogar in der Mitte des Schattens ist ein leuchtender Streifen wahrnehmbar. Man nennt diese Erscheinung: Beugung des Lichtes.

Die helle Linie in der Mitte des Schattens entsteht dadurch, dass die an den Rändern des Drahts vorüberfliessenden Wellentheile auch in den Schatten eindringen und in der Mitte desselben gleichen Phasen und noch in hinreichender Stärke ankommen, eine bemerkbare Lichtwirkung erzeugen zu können. Die an den Fransen fallenden Wellen, welche sich bei der totalen Reflexion Summirung der Einwirkungen, aller rechts und links dem Drahte vorübergehenden Wellentheile eine gegenseitige Verstärkung ergibt. In der That, wird das auf der einen Seite des Drahts vorübergehende Licht mittelst eines dunklen Schirms zurückgehalten, so verschwinden die Streifen im Innern des Schattens, obschon doch nur die Hälfte des gebeugten Lichtes fortgenommen ward.

Anstatt das gebeugte Licht auf einer weissen Fläche aufgefangen, kann man es auch mit einer Loupe betrachten. Der Schatten wird dann durch ein Haar ersetzt. Man sieht auf diese Weise eine grössere Anzahl heller und dunkler Fransen.

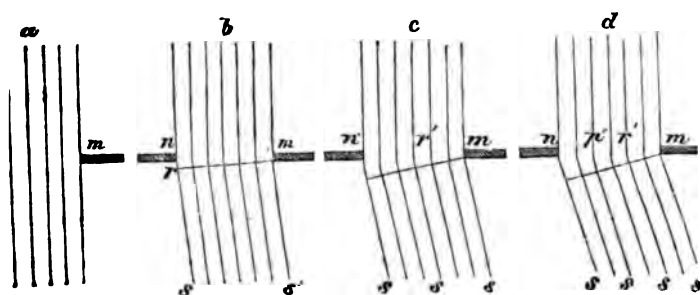
578. Erscheinungen von ähnlicher Art werden wahrgenommen, wenn Licht von einem Punkte oder einer Lichtlinie durch die feine Oeffnung eines undurchsichtigen Schirms in einen dunklen Raum eindringt. Gesetzt, das Licht sei horizontal es komme von einer sehr schmalen verticalen Spalte und durch eine zweite in einigem Abstände dahinter befindliche und ebenfalls vertikal gerichtete Spalte in den dunklen Raum.

Stellt man in diesem eine weisse Tafel rechtwinklig

g des Lichtes, so bemerkt man ein mittleres helles Bild, jedoch breiter, als es die geometrische Schattengränze ist. Rechts und links folgen dann, durch dunkle Zwischengrenzen getrennt, eine Anzahl schmalerer Bilder, in gleichem Abstand und sämtlich von gleicher Breite. Die Lichtstärke dieser Bilder, welche den Namen Beugungsspectra erhalten haben, fällt von der Mitte aus rasch ab. Je brechbarer das Licht ist, in dem man die Erscheinung sieht, desto enger rücken die Bilder zusammen. Die Abstände des nämlichen Seitenspectrums rechts und links, von einander oder von der Mitte, in rothem und in blauem Licht betrachtet, verhalten sich, wie die Wellenlängen dieser Lichtgattungen.

Theoretisch abzuleiten, wie gross an irgend einer Stelle der weissen Beugung die Lichtintensität sein muss, hat man die Gesamtwirkung aller Beugungsbilder zu nehmen, welche von den verschiedenen Punkten der Spalte nach allen Richtungen ausgehen. Je weiter man die Tafel von der Spalte entfernt, umso enger werden diese Strahlen gegen einander geneigt sein; sie würden nämlich parallel laufen, wenn die Tafel unendlich weit entfernt wäre. In diesem Fall kommt aber in Betracht, wenn man die Spalte unmittelbar vor dem Auge für Fernsehen angepasstes Auge setzt; nur die parallel zur optischen Achse ausgehenden Strahlen kommen in einem Punkte der Netzhaut zur Interferenz. Dasselbe gilt, wenn man den Schirm unmittelbar vor das Objectivglas eines Fernrohrs bringt; zudem sieht man die Beugungsercheinung dann vergrössert und kann sie, wenn das Fernrohr mit einem Mikroskop verbunden ist, der Messung unterwerfen. Um zu zeigen, dass das Fernrohr auf eine entfernte erleuchtete Spalte gerichtet ist, stellt man ein Objectivglas vor das Objectivglas des Fernrohrs rechtwinklig gegen die optische Achse des Instrumentes und den Weg des Lichtes angebracht; so dass nur noch durch eine vertikale Spalte von geringer Breite in das Fernrohr gelangen kann. mn (Fig. 305) zeigt diese Spalte in vergrössertem

Fig. 305.



be. Betrachten wir nun jedes Aethertheilchen in dieser Spalte als ein Elementarcentrum von Lichtwellen, oder was dasselbe ist, als Ausgangspunkt von Lichtstrahlen. Diejenigen dieser Strahlen, welche, wie in Fig. 305 a, parallel zur optischen Achse fortschreiten, schwingen in dem Punkte, in dem sie durch die brechende Kraft des Objectivs vereinigt werden, mit derselben Phase und summiren ihre Wirkung. Dies ist auch noch, wiewohl in

Ionlänge gegen den mittleren Strahl $r's$ zurück ist, findet je
 sehen $m's$ und $r's$ einen entsprechenden zwischen $r's$ und m
 Wirkung vollkommen aufhebt, daher tritt in dieser Richtung
 null der Lichtstärke ein. In Fig. 305, d ist der Randstrahl
 halbe Wellenlängen hinter $m's$ zurück. Die Strahlen zwisch
 finden zwischen $p's$ und $r's$ entsprechende, welche ihre Wi
 men aufheben, und es bleiben nur die Strahlen zwischen r'
 sam zurück. Nimmt man an, dass die kleinen Bewegungen
 eben sich an der Vereinigungsstelle der Strahlen gerade su
 tenität des Lichtes aber dem Quadrate der Schwingungsw
 ist, so sieht man ein, dass das erste seitliche Bild, zu we
 ein Drittel aller durch die Spalte dringenden Oscillationen beik
 neunmal schwächer erleuchtet ist, als die Stellen, welche
 Richtung Fig. 305 b durch die Spalte gehenden Lichte getrof

Bei einer Neigung α des parallelen Strahlenbüschels be
 unterschied der Randstrahlen, wie man aus der Figur entwir
 Die seitlichen Beugungsbilder erblickt man nach den Richtun
 jede Grösse einer ungeraden Zahl halber Wellenlängen gl

man die Gleichung hat $m \sin \alpha = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$, oder \sin
 wenn λ die Länge einer Welle bedeutet. Man sieht hieraus
 um so weiter auseinander rücken und um so breiter ausfall
 die angewendete Spalte ist. Für das erste seitliche Bild ist

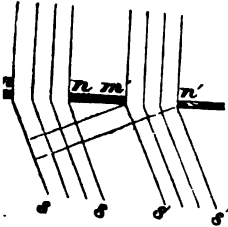
oder $\lambda = \frac{2 m \sin \alpha}{1}$. Kennt man daher die Breite m
 $m \sin \alpha$ für die verschiedenen Farbenstrahlen die Werthe vo
 sich daraus die Wellenlängen.

Für den ersten dunkeln Zwischenraum ist $m \sin \alpha = \frac{\lambda}{m}$
 die Breite m λ einer bis eine Lichtwelle wäre, würde da
 bild nicht sichtbar sein.

In so dunkeln nicht einzuweisen, wie die Erscheinung s
 wenn man weisses mittel homog. Licht anwendet. Das
 von beiderseits sind gestimmt. Die ersten seitlichen Bilder s
 hite aufgehoben. Folge davon ist, in dem äussern Rand

Lichtbündel einen hinreichenden Gangunterschied haben, um ihre Wirkung gegenseitig zu compensiren. Dies ist immer da der Fall, wo der Gangunterschied von ms und $m's'$, (Fig. 306) einer ungeraden Anzahl halber Wellenlängen gleich ist. Da der Gangunterschied durch $mm' \sin. \alpha$ ausgedrückt ist, so sieht man, dass der Ort der sekundären Fransen von der Summe der Breite der Oeffnung und des Zwischenraums zwischen beiden Oeffnungen abhängig ist. Je weiter die Oeffnungen auseinander rücken, desto feinere und zahlreichere Fransen durchschneiden die Spectra erster Klasse.

Fig. 306.



Zahl der Stellen, an welchen völlige Aufhebung des Lichtes eintritt, mit der Anzahl der nebeneinander angebrachten Oeffnungen. Fraunhofer hat zuerst die Beugungserscheinungen, wie sie durch eine sehr grosse parallele, gleichbreitere und durch gleiche Zwischenräume getrennter, durch sogenannte Gitter gesehen werden, näher studirt. Er erhielt Gitter durch Einziehen feinen Drahtes in die Gänge zweier ganzen Schrauben oder durch Reissen von Linien in den Gold- oder Tuschkupfer, welcher auf Spiegelplättchen angebracht war; die feinsten, bis zu einem Millimeter auf die Breite eines Millimeters durch Einritzen von matten Strahlengittern auf Spiegelglas. Es ist begreiflich, dass solche Gitter, bei Anwendung homogenen Lichtes, nur die unveränderliche der angewendeten Lichtlinie in allen den Richtungen gesehen werden, in welchen der Gangunterschied der entsprechenden Randstrahlen der nächsten Oeffnungen, also $mm' \sin. \alpha$ (Fig. 306) irgend eine Anzahl halber Wellenlängen beträgt; wenn man davon noch die Richtungen abrechnet, in welchen die durch die einzelnen Oeffnungen dringenden Lichtstrahlen sich aufheben. Bei jeder, wenn auch geringen Abweichung von den Werthen von α findet sich bei der grossen Anzahl von Spalten ein solches Verhältniss leicht eine andere, so gelegen, dass die aus beiden Oeffnungen dringenden Lichtbündel sich aufheben. Beträgt der Gangunterschied der Randstrahlen der nächsten Spalten z. B. $\lambda + \frac{\lambda}{n}$, so braucht man nur um $\frac{n}{2}$ Spalten zu gehen, um einen Gangunterschied von $(n + 1) \frac{\lambda}{2}$ zu erhalten.

Bei sehr feinen Spalten ist der Unterschied der Richtungen, nach welchen die Beugungsbilder der verschiedenen Farben erblickt, so gross, dass bei Anwendung weissen Lichtes in grosser Reinheit auseinander treten. Man sieht man die bekannten Fraunhofer'schen Linien (No. 558) bei 50 Spalten auf den Millimeter, und man hat hiermit das Beste mögliches denkbar ist, um die Wellenlängen bestimmter Farbenstrahlen genauigkeit zu messen. Man stellt zu diesem Zwecke den Vertikalfaden des Fernrohrs auf eine bestimmte Linie im ersten Beugungsbilde eines Gitters dann auf die nämliche Linie im ersten Beugungsbilde rechts ein. Ist α der Winkel des Fernrohrs vom Fernrohr beschriebenen Winkels α , und ist b die Breite einer Spalte sammt Zwischenraum aus der Anfertigung des Gitters bekannt, so ist die Wellenlänge des betreffenden Strahles $\lambda = b \sin. \alpha$. Diese Formel bedarf noch einer Correction, wenn die seitliche Verschiebung des Fernrohrs bei der Messung gegen die Richtung der Lichtquelle, von demselben nicht als verschwindend angenommen werden darf. Folgendes sind die von Fraunhofer gefundenen

eine grosse Farbenpracht entwickeln, erklären sich aus den wendeten Grundsätzen in befriedigender Weise.

Fringeritzte Oberflächen zeigen auch im reflectirten Lichte terfarben. Das Farbenspiel der Perlmutter beruht auf diesem

579. Reflexion und Brechung. — Die vll
wegung, welche in der Lichtquelle entsteht, überträgt
angränzenden Aether, und indem eine Aetherschicht
nommene Bewegung der folgenden Schichte mittheilt
selbst zur Ruhe, gerade wie diess bei der Fortpfl
Stosses in einer Reihe ganz gleicher elastischer Kug
der Verbreitung der Schallwellen durch die Luft od
elastischen Körpern der Fall ist. Jede solche Beweg
sich mit einer Geschwindigkeit fort, welche durch
wurzel aus der Elasticität, dividirt durch die Dichte
schen Mittels, ausgedrückt ist. Weder die Elasticität
Dichte des Aethers kann unmittelbar gemessen werde
Quotient beider Grössen, für die Beschaffenheit des Ae
ren Raume, ergibt sich aus der bekannten Fortpfl
schwindigkeit des Lichtes. Wenn ein Lichtstrahl bei
gang aus dem leeren Raume oder auch aus der Luft in
durchsichtige Substanz seine Richtung ändert, (Br
darf man dieses als einen Beweis ansehen, da
schwindigkeit der Wellenverbreitung in dem zweite
andere ist.

Fig. 307.



auf die Gränzfläche MN zweier durchsichtiger Körper trifft, werden von den Puncten a , a' , a'' aus Elementarwellen sich wohl im ersten, als im zweiten Mittel verbreiten. Im ersten wird diese Verbreitung mit der nämlichen Geschwindigkeit heben, mit welcher die einfallende Welle am fortging; im zweiten Mittel nehmen wir die Geschwindigkeit verschieden z. B. $\frac{3}{4}$ von derjenigen der einfallenden Welle an. Während der Zeit m der letzteren nach a'' gelangt, hat sich von a aus eine Welle $an = a''m$ ins erste, eine Welle $al = \frac{3}{4} a''m$ ins zweite Mittel fortgepflanzt; von a' aus ist eine Welle $a'o' = a''m - a'o$ ins erste, eine Welle $a'o'' = \frac{3}{4} (a''m - a'o)$ ins zweite Mittel gelangt. In gleicher Weise berechnet man die Halbmesser der Elementarwellen für alle zwischen a und a'' liegenden Puncte. Dieses Licht kommt aber nur da zu Stande, wo diese Wellen nicht zur Bewegung des Aethers beitragen, also im ersten Mittel nur der alle elementaren Wellen berührenden Linie $a''n$, im zweiten Mittel längs $a''l$. Die erstere heisst die zurückgeworfene, die zweite die gebrochene ebene Welle. Rechtwinklich zu diesen Wellenoberflächen sind die zurückgeworfenen und gebrochenen Strahlen gerichtet.

Was die zurückgeworfene Welle betrifft, so steht sie rechtwinklich gegen die Einfallsebene und da die Dreiecke $aa''m$ und naa'' beide rechtwinklig sind, die Seite aa'' gemeinschaftlich hat und ausserdem noch $a''m = an$ ist, so sind auch die Winkel $aa''m$ und naa'' gleich. Die zurückgeworfenen Strahlen liegen also in der Einfallsebene und machen mit MN , also auch mit dem aufgefällten Lothe pp gleiche Winkel.

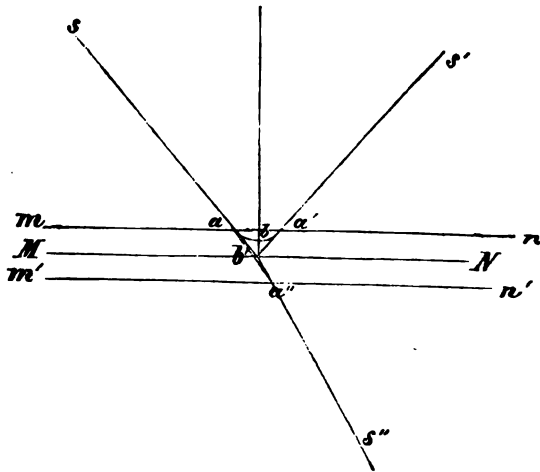
Die gebrochenen Strahlen liegen zwar auch in der Einfallsebene, allein sie machen mit dem Lothe einen kleineren Winkel, als die einfallenden. Man sieht, dass die stärkere Brechkraft eines Mediums durch eine geringere Geschwindigkeit des Lichtes in demselben bedingt erscheint. Nimmt man aa'' zur Einheit, so ist $a''m$ der Sinus von maa'' , welcher dem Einfallswinkel $maa''p$ gleich ist, al der Sinus von $la''a$, welcher dem Brechungswinkel $pa''b''$ gleich ist. Diese beiden Sinusse verhalten sich also, wie $a''m : a''l$, also wie die Geschwindigkeiten des Lichtes in beiden Mitteln. So wie sich diese nicht ändern, wird auch das Verhältniss der Sinusse von Einfall- und Brechungswinkel constant sein, wie dies Newton als den einfachen Ausdruck des Brechungsgesetzes ausdrücken hat *).

*) Newton hatte angenommen, dass die Fortpflanzung des Lichtes durch eigenthümliche feine Körperchen geschehe, welche mit grosser Geschwindigkeit von den Lichtquellen ausgeschleudert würden. In die Atome materiellen Substanzen verlegte er den Sitz zweier auf die Lichtkörper wirkenden Kräfte, einer abstossenden und einer anziehenden Kraft.

Die Zerlegung des Lichtes in Farben, welche mit der Brechung verbunden ist, beweisst, dass das Verhältniss in welchem die Geschwindigkeit der Wellenverbreitung bei dem Uebergang in ein stärker brechendes

Die Lichtkugeln selbst aber sollten periodischen Veränderungen unterworfen sein, welche sie abwechselnd für die Abstossung oder für die Anziehung geeigneter machten. In Fig. 308 bezeichnet $ab a'$ die Bahn des Lichtkugelchens, welches in dem Strahl sa und im Zustand der

Fig. 308.



Abstossung sich der Grenzfläche MN zweier brechender Mittel näher Bahn ist gekrümmt, so lange das Lichtkugelchen sich in der Wirkungssphäre der materiellen Moleküle befindet. Die zur Grenzfläche MN winklige Componente der Geschwindigkeit von p wird aufgeboben dann während der Bewegung von b nach a' durch die fortwirkende Abstossung wieder in gleicher Stärke in entgegengesetztem Sinne hergehoben. Die mit MN parallele Seitengeschwindigkeit ist unverändert geblieben, her das Lichtkugelchen mit unveränderter Geschwindigkeit und unter gleichem Winkel, unter welchem es einfallend zurückgeworfen wurde. — Findet sich das Theilchen dagegen, wenn es in die Wirkungssphäre einer Materie tritt, im Zustand grösserer Empfänglichkeit für die Anziehung beschreibt es unter dem Einflusse dieser Kraft eine krumme Bahn a indem seine zu MN rechtwinklige Seitengeschwindigkeit wächst, bis es die Grenze $m'n'$ die Anziehung nach allen Seiten gleich geworden ist. Es dann in gerader Linie $a''s''$ mit vermehrter Geschwindigkeit weiter. — Zunahme an Geschwindigkeit, welche ein bewegtes Theilchen unter dem Einflusse einer beschleunigenden Kraft erleidet, nur von dem Wege abhängig ist, welchen das Theilchen in Richtung der Kraft zurücklegt, da dieser Weg bei der Lichtbrechung immer gleich der Dicke der Schicht $mnm'n'$, also unter allen Einfallswinkeln der nämliche ist, so folgt auch das Verhältniss der Geschwindigkeiten im ersten und zweiten Medium für alle Einfallswinkel ein gleiches ist. Auch hieraus lässt sich das Gesetz von Snellius ableiten; allein man bemerkt sogleich, dass, während die Vibrationshypothese eine geringere Geschwindigkeit in stärker brechendem

Setzt sich vermindert, für die verschiedenen Farbenstrahlen ein ungleiches. Wenn man auch einsieht, dass diese Ungleichheit durch die Einwirkung materieller Moleküle bedingt sein muss, so sind doch die mechanischen Gründe der Erscheinung keineswegs aufgeklärt. Man hat eine einfache Beziehung zwischen den Wellenlängen und den Brechungsverhältnissen der Farbenstrahlen noch nicht aufzufinden vermocht. Uebrigens verkürzen sich die Wellenlängen beim Uebergang aus der Luft in ein stärker brechendes Mittel im Verhältniss des Brechungscoefficienten. Für den Strahl *B* im Roth nach S. 620 die Wellenlänge in der Luft $\lambda = 0,000688$ Millimeter, das Brechungsverhältniss dieses Strahls für den Uebergang in Flintglas ist $n = 1,7749$, daher die Wellenlänge im Flintglase: $\lambda' = \frac{\lambda}{n} = 0,000423$ Millimeter.

Bei dem Uebergang aus einem stärker brechenden Mittel in ein anderes von geringerer Brechkraft tritt die Grenze der möglichen Brechung dann ein, wenn die von *a* (Fig. 306) in das zweite Mittel gegangene Welle einen Winkel grösser als a'' angenommen hat, bis der Punkt *m* der einfallenden ebenen Welle nach a'' gelangt. Es ist dann keine gegenseitige Unterstützung der Bewegung in diesen Elementarwellen mehr möglich, da jede folgende die vorhergehende nicht einholt; es tritt in diesem Falle totale Reflexion ein, (No. 535).

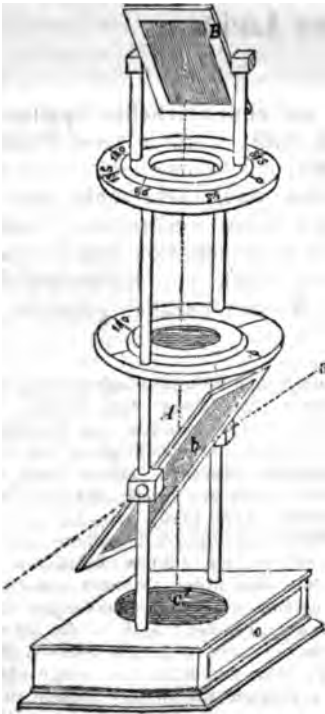
Polarisation des Lichtes.

580. Ein Lichtstrahl, welcher auf ein natürliches Spaltungsstück von durchsichtigem Kalkspath trifft, wird in zwei Strahlen getheilt. Huyghens hatte bemerkt, dass diese beiden aus dem Kalkspathe hervorkommenden Strahlen sich nicht mehr wie untheilbar von der Quelle kommendes Licht verhielten, sondern wie Lichtstrahlen von verschiedenen Eigenschaften angenommen werden. Wurde ein zweites Spaltungsstück von Kalkspath dem ersten mit seinen entsprechenden Kanten parallel gehalten, so

Mitteln voraussetzt, nach der Newton'schen Betrachtungsweise gerade die Gegentheil folgt. Man hat in neuerer Zeit (Pogg. Ann. LXXXI., 434. LXXXII., 124) durch directe Messung der Geschwindigkeit des Lichtes in Luft und Wasser den entscheidenden Beweis für die Unrichtigkeit der Newton'schen Hypothese erhalten. Diese Messungen erfordern jedoch einen ausserordentlich schwierig darzustellenden, kostbaren Apparat. Weit einfacher kann jene entscheidende Thatsache constatiren, wenn man, wie Arago dies zuerst ausführte, in den Weg eines der beiden Lichtbüschel, welche an ihrer Kreuzungsstelle Interferenzfransen bilden, ein dünnes Blättchen aus einem stärker brechenden Mittel, etwa aus Glas oder Glimmer einschiebt. Die Geschwindigkeit des Lichtes in diesem Blättchen eine andre, als in der Luft, so müssen die Orte gleichen Gangunterschiedes, d. h. die Interferenzstreifen, ihre Lage ändern. Da man sie nun in jedem solchen Falle auf der Seite hin rücken sieht, auf welcher das Blättchen eingeschoben wurde, so beweist dies, dass das Licht in stärker brechenden Mitteln in der That eine Verzögerung erleidet, also sich langsamer bewegt.

wurde jeder der beiden aus dem ersteren hervorkommenden Strahlen nicht weiter gespalten; das nämliche fand statt, man einen der beiden Kalkspathe um die Gesichtslinie als *A* einen rechten Winkel drehte. In jeder andern Lage erblickte vier Bilder. Diese eigenthümliche Veränderung in den Eigenschaften eines Lichtstrahls zog erst dann die Aufmerksamkeit wieder auf sich, nachdem Malus im Jahre 1810 zufällig erfuhr, dass Sonnenstrahlen, welche von gegenüberliegenden Fensterscheiben zurückgeworfen waren, durch ein Stück Kalkspath betrachtet, fast ganz die nämlichen Eigenschaften des wie ein Strahl, welcher vorher schon durch Kalkspath gegangen war. Eine nähere Untersuchung führte zu dem merkwürdigen Resultate, dass Licht, welches von gewöhnlichem Glas einem Winkel von 56° zurückgeworfen wurde, von einer Glasplatte und unter dem nämlichen Einfallswinkel nicht mehr zurückgeworfen wird, wenn die Einfallsebene am zweiten einen rechten Winkel mit derjenigen der ersten Zurückwerfung bildet.

Fig. 309.



Der von Nörrenberg konstruirte Apparat (Fig. 309) ist vorzüglich geeignet, die hier gehörigen Erscheinungen zu zeigen. Man stellt sich auf, dass ein Strahl Lichtes, bestehend von weissen Sonnenstrahlen ausgehend, unter 56° auf eine Glasplatte *A* fällt. Er wird zurückgeworfen, geht auf dem horizontalen Spiegel *c*, von welchem ohne in seinen Eigenschaften verändert worden zu sein, senkrecht aufwärts nach dem Spiegel *B* gesendet wird, welchen man am besten aus schwarzem Glase bestehen lässt.

Wie dieser Spiegel in der Figur gezeichnet ist, stehen die Einfallsebenen des Lichtes an beiden Spiegeln rechtwinklig gegen einander, das kreisförmige Feld, welches die Durchbrechungen der horizontalen Scheiben des Apparates offen lassen, ist

g dunkel. So wie man aber den oberen Spiegel sammt dem ringförmigen Fusse dreht, indem man den Einfallswinkel ungeändert lässt, beginnt das Feld hell zu werden und erreicht seine grösste Lichtstärke, wenn die Einfallsebenen an beiden Spiegeln parallel gerichtet sind. Der Strahl hat demnach die Zurückwerfung an der unteren Platte nach zu einander entgegengesetzten Richtungen verschiedene Eigenschaften angenommen. Man legte, von der Newton'schen Vorstellung ausgehend, den Lichtkugeln verschiedenartige Pole bei, und nahm an, dass diese bei der Zurückwerfung am unteren Spiegel parallel gerichtet würden, so dass der Strahl nur auf zwei gegenüberliegenden Seiten für die Abstossung der Materie oder die Zurückwerfung empfänglich sei. Der Strahl wurde demnach, zum Unterschied von gewöhnlichem, von der Quelle kommendem Licht, ein polarisirter Lichtstrahl, der Einfallswinkel, unter welchem er die veränderte Eigenschaft möglichst vollständig annimmt, der Polarisationswinkel, und die Einfallsebene des Lichts als am unteren (Polarisations-) Spiegel, Polarisationssebene genannt.

Die Reflexion ist übrigens nicht das einzige und auch nicht das bequemste und beste Mittel, um polarisirtes Licht darzustellen. Wenn man den in der Verlängerung von ab an der Polarisationsseite des Nörrenberg'schen Apparates durchgehenden Antheil des Strahls mittelst eines besondern Spiegels auf seinen Polarisationszustand untersucht, so findet man den Strahl von gewöhnlichem Lichte zwar verschieden, indem er je nach der Richtung der Einfallsebene des Zerlegungsspiegels eine ungleich starke Reflexion erfährt; allein in keiner Lage bleibt diese ganz aus; das Licht ist theilweise polarisirt. Man kann indessen diese theilweise Polarisation zu einer fast ganz vollständigen steigern, wenn man eine grosse Zahl paralleler Glasflächen hintereinander anordnet. Je dünner und durchsichtiger diese Platten sind, desto mehr brechende Flächen kann man anwenden, ohne doch gleichgültig allzuviel Licht durch Absorption im Innern der Glasmasse zu verlieren.

Eine Untersuchung der beiden aus dem Kalkspath tretenden Strahlen lehrt, dass sie beide, der eine rechtwinklig gegen den andern, polarisirt sind. Jeder durchsichtige Krystall, welcher zum regulären System gehört, zeigt dieselbe Erscheinung, unter allen hat der Turmalin allein die Eigenschaft, schon in ziemlich dünnen Platten den einen Strahl völlig zu absorbiren.

Die Turmalinplatte, deren parallele Flächen nach der Hauptaxe des Krystalls gerichtet sind, ist daher zur Darstellung polarisirten Lichtes vorzüglich brauchbar.

Um die beiden polarisirten Strahlen des Kalkspaths einzeln darstellen zu können, trennt man dieselben, indem man ein Kalkspath's Experimentalphysik.

spathstück prismatisch zuschleift, etwa die brechende Kante parallel der Hauptaxe des Krystalls, und dasselbe zur Vermeidung der allzustarken Ablenkung und Farbenzerstreuung mit Glasprisma achromatisirt.

Man sieht dann die beiden rechtwinklig gegeneinander polarisirten Bilder gleichzeitig nebeneinander, oder auch teilweise ineinander greifend. Wo sich beide Bilder decken, zerfallen die polarisirten Strahlen zu natürlichem Lichte.

Um den einen Strahl ganz aus dem Gesichtsfelde zu entfernen, ist in dem sogenannten Nikol'schen Prisma die totale Reflexion in einer geschickten Weise benutzt. Ein Kalkspathstück (Fig. 310.) bei ab und cd so abgeschliffen, dass diese

Fig. 310.



Winkel von 68° bilden, wird nach b rechtwinklig gegen cd durchgeschnitten. Die beiden Flächen werden geschliffen und dann mit einer Schichte Canadabalsam wieder aufeinander verbunden. Da das Brechungsverhältniss dieses Harzes gleich dem hält zwischen den Brechungsverhältnissen des Kalkspaths mit ac gehen, so dringt der stärker gebrochene Strahl nicht in die Harzschichte ein, sondern erleidet an der Trennungsfläche bc die totale Zurückwerfung und wird an den geschwärzten Aussenflächen des Nikol'schen Prismas absorbiert. Zwei gekreuzte, d. h. mit ihren Polarisationsebenen rechtwinklig gegeneinander gestellte Nikolsche Linsen löschen die Bilder vollständig aus. — Zwei gekreuzte Turmalinplatten zeigen dasselbe Verhalten. Der Turmalin hat übrigens die Eigenschaft, dass er auch das durchgehende polarisirte Licht schwächt und zudem grün oder braun färbt, weshalb die Nikol'schen Prismen in beinahe vollständiger Unsichtbarkeit dargestellt werden können und das Licht gefärbt.

Nachdem Arago und Fresnel im Jahre 1816 die Wahrnehmung gemacht hatten, dass rechtwinklig gegeneinander polarisirte Strahlen an der Durchkreuzungsstelle keine Interferenzfransen erzeugen, während sie gleich auftreten, wenn man die Polarisationsebenen beider Strahlen parallel richtet, gelangte Fresnel zu der Ansicht, welche Young schon in einer Abhandlung über die Farben in Krystalplättchen niedergelegt, dass die Schwingungen des Aethers, welche einen Lichteindruck bringen, rechtwinklig gegen die Richtung des Strahles stattfinden. Die Bewegung überträgt sich hiernach, von der Quelle ausgehend, von Theilchen zu Theilchen durch Repulsion einer Aethertheilchen von einer Aetherschicht zur anderen. Jede Schicht vollendet eine volle Oscillation, während eine Welle durch geht, ganz ähnlich wie bei einer Welle, welche sich einem gespannten Seil entlang bewegt.

Nimmt man an, dass in einem gewöhnlichen, von der Quelle kommenden Lichtstrahl die Oscillationen des Aethers vermöge der unregelmäßigen Erschütterungen der leuchtenden Theilchen in kurz aufeinander

iten in allen möglichen Richtungen stattfinden, welche auf der Rich- des Strahles rechtwinklig stehen, dass dagegen in einem vollständig irten Strahle die Schwingungen sämmtlich einer durch den Strahl en Ebene parallel gerichtet sind, so begreift es sich, wie ein polari- trahl verschiedene Seiten haben kann, und warum rechtwinklig auf- er polarisirte Strahlen sich nicht auszulöschen vermögen.

n polarisirter Strahl, in welchem die Schwingungen rechtwinklig ge- e Einfallsebene, also parallel der zurückwerfenden Fläche gerichtet ann, an der Grenzfläche beider Mittel angelangt, in diesen nur solche gungen erregen, welche ebenfalls parallel zur Trennungsfäche ge- sind. Die Bewegung kann sich unter diesen Umständen nur dann ns zweite Mittel übertragen, wenn dieses den nämlichen Brechungs- enten hat, wie das erste Mittel. Parallel mit der zurückwerfenden schwingendes Licht kann daher unter keinem Einfallswinkel voll- n ausgelöscht werden. Aus dieser Betrachtung folgt, dass die Schwin- des an der untern Platte des Nörrenberg'schen Apparates polarisir- rables senkrecht zur Einfallsebene (oder zur Polarisir- ebene) gerichtet sind. — Vergleicht man hiermit das Verhalten malinplatten, so ergibt sich, dass diese nur von Schwingungen durch- werden, welche parallel der Axe des Krystalls stattfinden. Da- umt die Beobachtung sehr gut überein, dass senkrecht zur Axe ge- ne Turmalinplatten schon in äusserst geringer Dicke völlig undurch- sind, während Platten aus dem nämlichen Krystalle parallel der schnitten noch bei weit grösserer Dicke das Licht durchlassen. — ahl, welcher das Nikol'sche Prisma durchdringt, enthält nur Schwin- in der Ebene $abcd$ der Figur 310.

in Strahl, dessen Schwingungen sämmtlich parallel einer seine Richtung gelegten Ebene erfolgen, heisst ein ge- inig polarisirter, zum Unterschied von anderen ngungszuständen, welche wir sogleich näher beschreiben n.

l. Zusammensetzung polarisirter Strahlen. Keine optische nung hat bis jetzt der Annahme von Transversalschwingungen wider- n. Jede Veränderung, welche polarisirtes oder gewöhnliches Licht Zurückwerfung und Brechung erfährt, lässt sich aus der Zusammen- ; solcher Schwingungen nach dem Satz des Parallelogrammes der Ge- digkeiten erläutern.

enn zwei in der nämlichen Ebene liegende Schwingungen von gleicher (also gleichfarbigem Lichte angehörig) sich nach gleicher Richtung nzen, so hängt die Stärke der resultirenden Schwingung davon ab, ie Bewegungen gleichzeitig, oder durch ein gewisses Zeitintervall ge- von dem nämlichen Punkte ausgehen. Die Ausweichungen aus der gewichtslage, welche ein Aethertheilchen vermöge beider Bewegungen eitig annimmt, summiren sich. Die Intensität des Lichtes aber desmal dem Quadrat dieser Ausweichung oder dem Qua- derjenigen Geschwindigkeit proportional, welche das rtheilchen bei dem Durchgang durch die Gleichgewichts- ingenommen hat.

nd die grössten Ausweichungen zweier Wellen c und c' , und treffen in Aethertheilchen gleichzeitig, so wird dies bis zu einem Abstand ' aus der Ruhelage getrieben. Ist die eine Schwingung gegen die an- n eine halbe Wellenlänge zurück, so sind beide Bewegungen an dem ten Punkte in entgegengesetztem Sinne gerichtet. Das Aetherheil-

chen nimmt die grösste Ausweichung $c - c'$ an. Es findet völlige Aufhe der Bewegung statt, wenn $c = c'$.)

Im Falle die beiden Schwingungsrichtungen rechtwinklig aufein stehen, kann eine geradlinige resultirende Schwingung nur dann ents wenn der Gangunterschied der Componenten gleich Null oder irgend Zahl halber Wellenlängen gleich ist.

Ein Gangunterschied einer geraden Anzahl halber Wellenlängen keine andere Wirkung haben, als wenn kein Gangunterschied vorl wäre. Beide Componenten greifen das Aethertheilchen m (Fig. 31) g zeltig an und führen es in der Richtung ms der Diagonale des c und c' construirten Parallelogramms fort, so dass $c'' = \sqrt{c^2 + c'^2}$ die Seitenschwingung c' durch irgend eine Ursache noch um eine v

*) Um die Intensität der resultirenden Schwingung bei jedem Gangunterschiede der geradlinig polarisirten Strahlen zu erfahren, mu die Rechnung zu Hülfe nehmen.

Es sei $s = c \sin. 2 \pi \frac{t}{T}$ (No. 489) die Ausweichung eines The zu irgend einer Zeit t , welche in Theilen einer ganzen Schwingung ausgedrückt erscheint. Eine andere Welle gebe dem nämlichen Theil der nämlichen Zeit die Ausweichung $s' = c' \sin. 2 \pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$, w Gangunterschied beider Wellen bezeichnet, in den nämlichen Einheite gedrückt wie die Wellenlänge λ . Der sovielte Theil x von λ ist, t ebensoviele Theil einer ganzen Schwingungsdauer wird ein Aetherth von der letzteren Welle später ergriffen, als von der ersteren, $\frac{t}{T}$ um $\frac{x}{\lambda}$ zu vermindern ist, wenn man die gleichzeitigen Ausweic in Rechnung nehmen will. Drückt man die Ausweichung des result Systems durch eine ähnliche Form $s'' = c'' \sin. 2 \pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$ t findet man aus der Gleichung: $s'' = s + s'$, leicht:

$$c''^2 = \left(c + c' \cos. 2 \pi \frac{x}{\lambda} \right)^2 + c'^2 \sin.^2 2 \pi \frac{x}{\lambda}$$

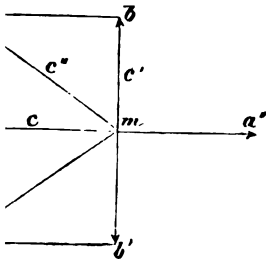
$$\text{und } \text{tang. } 2 \pi \frac{x}{\lambda} = \frac{c' \sin. 2 \pi \frac{x}{\lambda}}{c + c' \cos. 2 \pi \frac{x}{\lambda}}$$

beträgt der Gangunterschied beider Systeme, z. B. eine Viertelwelle, t $x = \frac{\lambda}{4}$, so ist

$$c''^2 = c^2 + c'^2 \quad \text{tang. } 2 \pi \frac{x}{\lambda} = \frac{c'}{c},$$

also die Intensität des resultirenden Strahls gleich der Summe der I tätien der beiden componirenden Strahlen.

Fig. 311.

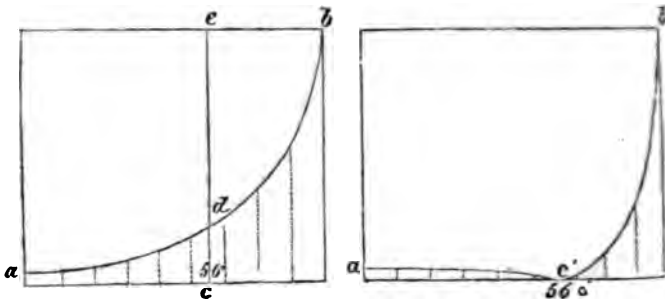


halbe Wellenlänge verzögert, so dass der Gangunterschied eine ungerade Anzahl halber Wellenlängen beträgt, so wirkt diese Seitenschwingung nach mb' in demselben Augenblicke, in welchem c nach ma gerichtet ist. Das Aethertheilchen wird daher nach md' aus der Ruhelage gerissen. Sind c und c' einander gleich, so steht die Schwingungsrichtung md' auf der im ersteren Falle erhaltenen md rechtwinklig. Eine Vermehrung des Gangunterschiedes um eine halbe Wellenlänge bewirkt daher in diesem Falle eine Drehung der Schwingungsrichtung um 90° .

Das Aethertheilchen, nachdem es erst einen Theil des Weges ma rückwärts beschrieben hat, von der nach mb gerichteten Bewegung c leitet die Rechnung, dass es dann in einer elliptischen Bahn um m herumgeführt wird. Ein solcher Strahl heisst dann elliptisch polarisirt. Die Richtung und Grösse der grossen und kleinen Axen der Bahn lassen sich leicht aus der Grösse c und c' der Seitenschwingungen und aus ihrem Gangunterschiede (oder Phasenunterschiede) berechnen. Wenn beide Seitenschwingungen gleiche Intensität haben und der Unterschied eine Viertel-Wellenlänge beträgt, so dass das Theilchen m , wenn es nach a gelangt ist, von der Seitenschwingung c' ergriffen wird, so wird die Schwingung in eine kreisförmige über, der Strahl heisst dann kreisförmig polarisirt. Jedes Theilchen, welches der Strahl pflanzt, bewegt sich im Kreise von a nach b , so lange die beiden Schwingungen zu wirken fortfahren. Die in der geraden Fortpflanzung des Strahles gelegenen Theilchen kommen, indem sie nach a von dieser Bewegung ergriffen werden, auf eine schraubenförmige Curve zu liegen. In dem angeführten Falle ist die Schraubenlinie rechtsgewundene. Wäre dagegen ma gegen mb um eine Viertel-Wellenlänge zurück, so dass das Theilchen m von der Seitenschwingung erst ergriffen würde, wenn es vermöge der Schwingung nach b gekommen wäre, so würde die Kreisbewegung von b nach a hin gehen, die Schraubenlinie, welche die Wellencurve in irgend einem Momente darstellt, wäre linksgewundene. Dasselbe Resultat würde eintreten, wenn mb gegen ma um drei Viertel-Wellenlänge verzögert wäre. Die Seitenschwingung mb würde das Aethertheilchen angreifen, nachdem es von m nach a und wieder nach m nach a'' gelangt wäre, und die Bewegung würde in demselben Sinne stattfinden.

Erklärung der Polarisation. Wenn man bei paralleler Einfallswinkel der Spiegel in Nörrenberg'schen Apparate den Einfallswinkel des Strahls am oberen Spiegel von 0° bis 90° anwachsen lässt, so ändert sich die Intensität des hier zum zweiten Male zurückgeworfenen Lichtes in der Weise, wie die Ordinaten der Curve ab , Fig. 312. — Wie man eine ähnliche Folge von Beobachtungen bei gekreuzten Spiegeln (die Einfallsebenen rechtwinklig gegeneinander gerichtet sind), bei normaler und streifender Incidenz die Intensitäten des zurückgeworfenen Lichtes begreiflicher Weise die nämlichen, wie im ersten Falle, an 0° an aber nimmt die Intensität zunächst ab, sie wird unter dem Einfallswinkel Null und nimmt dann wieder bis zur streifenden Incidenz

denz zu, wie dies die Curve $a'c'b'$, Fig. 312, versinnlicht. Sie ist gleich Fig. 312.



net für die Zurückwerfung am Glas, für welche der Polarisationswinkel etwa 56° beträgt*).

*) Indem Fresnel die Intensitäten des zurückgeworfenen und gebrochenen Strahls bei gegebener Intensität des einfallenden Lichtes und bekanntem Einfallswinkel, nach den Gesetzen des Stosses elastischer Körper abzuleiten suchte, ging er von der Ansicht aus, dass die bewegten Massen in beiden Mitteln den Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Lichtes in demselben, sowie der Dichte des Aethers, welche die Ungleichheit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit bedinge, proportional zu setzen seien. Nennt man die Massen im einfallenden, gebrochenen und reflectirten Strahle m, m' und die Schwingungsamplituden c, c' und c'' , so führt die Bedingung, dass die lebendige Kraft im einfallenden Strahle der Summe der lebendigen Kräfte im gebrochenen und reflectirten Strahle gleich sei, zu der Gleichung $m = m'c'^2 + mc''^2$, welche für den Einfallswinkel α und den Brechungswinkel α' in die Gleichung $\cos. \alpha \sin. \alpha' . c^2 = \cos. \alpha' \sin. \alpha . c'^2 + \cos. \alpha \sin. \alpha' . c''^2$ übergeht. Allein diese einzige Gleichung genügt zur Herleitung der beiden Unbekannten c' und c'' nicht. Fresnel fügte noch die Hypothese hinzu, dass parallel der brechenden Fläche die Verschiebungen des Aethers im einfallenden und zurückgeworfenen Strahle derjenigen im gebrochenen Strahle gleich seien.

Für rechtwinklig zur Einfallsebene schwingendes Licht erhält man nach der Gleichung $c + c'' = c'$; für in der Einfallsebene schwingendes Licht dagegen, wenn man die entsprechenden Größen mit c, c' und c'' bezeichnet, die Gleichung $(c + c'') \cos. \alpha = c' \cos. \alpha'$.

Je nachdem man die eine oder die andre dieser Bedingungen mit der obigen Gleichung verbindet, ergibt sich

$$c''^2 = c^2 \cdot \frac{\sin.^2 (\alpha - \alpha')}{\sin.^2 (\alpha + \alpha')} \text{ oder } c'^2 = c^2 \cdot \frac{\tan.^2 (\alpha - \alpha')}{\tan.^2 (\alpha + \alpha')}$$

Wenn n der Brechungscoefficient des Körpers ist, an welchem die Zurückwerfung geschieht, und $c, = c$ genommen wird, so erhält man die Intensität des senkrecht reflectirten Lichtes aus beiden Formeln gleich,

$$c''^2 = c^2 \left(\frac{n - 1}{n + 1} \right)^2$$

Nimmt man die Intensität des einfallenden Lichtes zur Einheit und

Wenn man auf die Oberfläche einer durchsichtigen Substanz einen geradlinig polarisirten Strahl einfallen lässt, dessen Schwingungsrichtung einen Winkel von 45° mit der Einfallsebene bildet [also einen im Azimut *) von 45° polarisirten Strahl], so sind die Seitenschwingungen parallel und rechtwinklig zur Einfallsebene, in welche man sich die Bewegung des Aethers zerlegen kann, im einfallenden Strahl gleich. Da bei jeder andern, als der normalen oder streifenden Incidenz, das in der Einfallsebene schwingende Licht in geringerem Verhältniss zurückgeworfen wird, als das rechtwinklig zur Einfallsebene schwingende, besteht im reflectirten Strahle jene Gleichheit nicht mehr, und die resultirende Schwingungsrichtung hat in Folge hiervon ein größeres Azimut angenommen. Bei jeder folgenden Reflexion in der nämlichen Einfallsebene wird es sich immer mehr 90° nähern; es wird aber diesen Werth sogleich und schon bei einmaliger Reflexion annehmen, wenn diese unter dem Polarisationswinkel geschieht. — Einen gewöhnlichen Lichtstrahl, welcher Schwingungen in allen möglichen Azimuten in unregelmässiger Folge enthält, kann man sich in zwei Componenten zerlegen, welche parallel und rechtwinklig zur Einfallsebene schwingen, und diese Componenten haben nothwendig gleiche Intensität. Nach der Reflexion aber an einer durchsichtigen Substanz herrschen die zur Einfallsebene rechtwinkligen Schwingungen vor, der Strahl ist teilweise polarisirt. Bei der Zurückwerfung unter dem Polarisationswinkel geht der gewöhnliche Lichtstrahl in einen geradlinig polarisirten über, da die parallel der Einfallsebene schwin-

met für Substanzen deren Brechungscoefficienten 1,5; 2,4; 4,0 sind, die Intensität des normal zurückgeworfenen Lichtes, so erhält man $\frac{1}{25}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{25}$. Diese Zahlen charakterisiren die in der Mineralogie unterschiedenen Reflexionen, den Glasglanz, Diamantglanz und Metallglanz.

Bei der streifenden Incidenz ist der zurückgeworfene Strahl von dem fallenden nicht verschieden. Während der Werth für c'^2 , für das rechtwinklig zur Einfallsebene schwingende Licht, von $\alpha = 0$ bis $\alpha = 90^\circ$ stetig wächst, und c'^2 zwischen diesen Grenzen einmal Null, wenn $\tan(\alpha + \alpha') = \infty$, oder $\alpha + \alpha' = 90^\circ$. Diess ist dann der Fall, wenn $\tan \alpha = n$, und man sieht leicht, dass dann der zurückgeworfene und der gebrochene Strahl den rechten Winkel mit einander bilden. Das Gesetz, dass die Tangente des Polarisationswinkels dem Brechungsverhältniss der Substanz gleich ist, wurde zuerst von Brewster experimentell nachgemessen und von Seebeck durch zahlreiche Messungen bestätigt. Man bemerkte indessen alsbald, dass dieser Satz nur für durchsichtige Körper von starker Brechkraft Geltung habe, und auf die Metalle und solche Substanzen, welche in Folge ihres hohen Brechungsverhältnisses das Licht mit vollähnlichem Glanze reflectiren, nicht anwendbar sei.

*) Für den Winkel, welchen eine irgend beliebige gerade Linie, mit der in derselben Ebene liegenden, und als Nulllinie angenommenen Richtung bildet, wird in der Folge die übliche Benennung Azimut angewendet werden.

gende Componente ganz in den gebrochenen Strahl aufgenommen wird.

Der gebrochene Strahl enthält jedoch auch bei dieser Incidenz noch einen grossen Theil des rechtwinklig zur Einfallsebene schwingenden Lichtes, nämlich den ganzen Antheil cd (Fig. 312), welcher das reflectirte Licht cd zur ursprünglichen Intensität ce ergänzt. Durch einmalige Brechung kann daher ein gewöhnlicher Lichtstrahl nicht vollständig polarisirt werden, und nur durch häufige Wiederholung des Vorgangs an einer grossen Zahl hintereinander gelegter brechender Flächen kann man in dem Zustande vollständiger geradliniger Polarisation allmählich näher führen.

562. Metallreflexion. — Metallflächen haben nicht die Fähigkeit gewöhnliches Licht unter einer bestimmten Incidenz in geradlinig polarisirtes Licht zu verwandeln. Indessen erkennt man auch bei ihnen, dass die in der Einfallsebene schwingende Componente (P) mit geringerer Vollständigkeit reflectirt wird, als die rechtwinklig zur Einfallsebene schwingende (R). Man hat bei verschiedenen Metallen den Einfallswinkel aufgesucht, bei welchem das Verhältniss $\frac{P}{R}$ am kleinsten ausfällt, und indem man diesem Winkel die Bedeutung des Polarisationswinkels beilegte, berechnet man nach der Formel: $\tan a = n$, die Brechungsverhältnisse der Metalle, welche wegen der Undurchsichtigkeit dieser Körper in keiner andern Weise ausgemittelt werden konnten. Bei dem Zink z. B. ist das Verhältniss $\frac{P}{R}$ bei etwa 77° am kleinsten und der Brechungscoefficient des Zinks hiernach $n = 4,331$.

Bei der Zurückwerfung an Metallflächen erleidet ein Lichtstrahl jedoch noch anderweite Modificationen, welche sich am einfachsten übersehen lassen, wenn man als einfallenden Strahl einen geradlinig polarisirten wählt. Gesetzt, die Schwingungen desselben erfolgen im Azimut von 45° , so dass die beiden Hauptcomponenten des einfallenden Lichtes gleiche Intensität haben. Man bemerkt alsdann, dass im reflectirten Lichte die geradlinige Polarisation aufgehoben ist. Ob theilweise Depolarisation, d. h. Ueberführung in den unpolarisirten Zustand, oder ob eine Umwandlung in elliptisch polarisirtes Licht stattgefunden hat, lässt sich mit einem Nicol oder einer Turmalinplatte nicht entscheiden. Die letztere Erklärung wird aber zur Gewissheit erhoben durch den Umstand, dass bei jeder Incidenz durch wiederholte Reflexionen die geradlinige Polarisation wiederhergestellt werden kann, wenn auch nicht in dem Azimut des einfallenden Strahls.

Bei jedem Metalle lässt sich eine Incidenz finden, und diese weicht nur äusserst wenig von dem Polarisationswinkel ab, unter welcher eine zweimalige Reflexion in der nämlichen Einfallsebene genügt, um die geradlinige Polarisation, welche bei der ersten Reflexion aufgehoben wird, in einem andern Azimut wieder herzustellen. Der Gangunterschied der beiden Hauptcomponenten muss demnach einer halben Wellenlänge gleich sein; da der Gangunterschied von einer ganzen Wellenlänge das Azimut ungeändert gelassen hätte, und in diesem Falle auch nach einmaliger Reflexion die geradlinige Polarisation hätte beobachtet werden müssen. Nach dieser ersten Reflexion betrug der Gangunterschied beider Hauptcomponenten eine Viertelwellenlänge, das Licht war elliptisch polarisirt. Man hat Mittel gefunden, nachzuweisen, dass das in der Einfallsebene schwingende Licht gegen die rechtwinklig zur Einfallsebene schwingende zurückbleibt, und dass die Ver-

ung von der streifenden bis zur normalen Incidenz von 0 bis zu einer en Wellenlänge stetig anwächst. Der Winkel, bei welchem der Gang-
rschied $\frac{\lambda}{4}$ beträgt, hat den Namen Hauptincidenz erhalten. Er ist
usserst wenig von demjenigen verschieden, bei welchem das Verhält-
 $\frac{P}{R}$ der Hauptcomposanten einen kleinsten Werth annimmt.

Die Reflexionserscheinungen der Metalle und diejenigen der durchsich-
n Körper bildeten sonach zwei gesonderte Gruppen, die Fresnel'schen
mein (S. 630) zeigten sich auf die Metallreflexion nicht anwendbar. In-
hatte man bemerkt, dass einige durchsichtige Körper von hohem Bre-
ngsverhältniss, wie Diamant, geschmolzener Schwefel, kohlen-saures Blei,
halb gewisser Gränzen der Incidenz deutlich elliptische Polarisatio-
ten und Jamin*) hat endlich nachgewiesen, dass das nämliche auch
Substanzen von niederer Brechkraft, wie bei Spiegelglas, Wasser etc.
tündet. Nur sind einerseits die Grenzen, zwischen welchen der Gang-
rschied der Hauptcomposanten sich von 0 auf $\frac{\lambda}{2}$ vergrößert, so eng
Glas ist dieser Uebergang nur zwischen 50° und 60° bemerkbar), und
rerseits sinkt das in der Einfallsebene schwingende Licht in der Nähe der
ptincidenz auf einen so kleinen Werth herab, dass ohne feinere Mittel
beobachtung die Abweichung von der geradelinigen Polarisatio nicht
ngenommen werden kann. Je höher der Brechungscoefficient einer Sub-
z ist, desto deutlicher und zwischen desto weiteren Gränzen tritt die
tische Polarisatio hervor. Es folgen hier einige Beispiele, in welchen I

Hauptincidenz, K das Verhältniss $\frac{P}{R}$ der Hauptcomposanten bei diesem
fallswinkel, n den aus diesem Winkel berechneten, und n' den beobach-
m Brechungscoefficienten bedeutet.

Positive Substanzen.	I	K	n	n'
Selen	68° 5'	0,1750	2,605	—
Realgar	67° 26'	0,0850	2,454	2,420
Kalkspath	59° 0'	0,0591	1,675	1,654
Flintglas	59° 44'	0,0180	1,714	1,710
Quarz	56° 50'	0,0102	1,530	1,547
Kronglas	56° 5'	0,0060	1,487	—
Centrale Substanzen.				
Alaun	55° 0'	0,0000	1,428	—
Menilit	56° 0'	0,0000	1,482	—
Negative Substanzen.				
Fluorin	55° 15'	0,0084	1,441	—
Hyalith	54° 52'	0,0064	1,421	—

Fast bei allen Substanzen wird die Composante P gegen R verzögert
dem Alaun und Menilit allein konnte Jamin keine Spur von ellipti-
Polarisation auffinden. Auf diese sind daher die Fresnel'schen Formeln
der Strenge anwendbar. Diese Formeln bilden jetzt nur noch einen spe-
cien Fall der allgemeinen Reflexionsformeln, welche Cauchy entwickelt
und welche die Gesetze der Zurückwerfung an Mitteln jeder Brechkraft
lassen. Mit dem Namen negativer Substanzen hat Jamin diejenigen
ichnet, bei welchen die in der Einfallsebene schwingende Composante
zu ihr rechtwinkligen voraussetzt.

*) Ann. chim. phys. (3 Ser.) XXIX, 263, XXXI, 165.

Der Polarisationswinkel und die Hauptincidenz sind von dem Brechungscoefficienten abhängig, also nicht nur mit der Substanz, sondern auch mit die verschiedenen Farbenstrahlen verschieden. Es kann daher bei der Zurückwerfung von in der Einfallsebene schwingendem Lichte immer nur ein Farbenstrahl ins Minimum gebracht werden und es erklärt sich daraus die leichte Färbung, welche weisses Licht bei der Reflexion in der Nähe der Hauptincidenz annimmt, und welche sich bei oft wiederholter Reflexion an Metallflächen bis zu einem deutlich hervortretenden Farbentone steigert. Auch sieht man ein, dass aus diesem Grunde die Polarisation durch Reflexion nie eine vollständige sein kann. Der Turmalin und das Nicol'sche Prisma leisten in dieser Beziehung mehr.

Auch bei der totalen Zurückwerfung findet eine merkliche Verzögerung des in der Einfallsebene schwingenden Lichtes statt, abhängig von dem Einfallswinkel und dem Brechungsverhältniss. Bei gewöhnlichem Glase erreicht z. B. der Gangunterschied der beiden Hauptcomponenten unter der Incidenz 54° den Werth von ein Achtel Wellenlänge. Lässt man daher einen im Azimut von 45° geradlinig polarisirten Strahl zweimal unter jener Incidenz total reflectiren, so erhält man einen kreisförmig polarisirten Strahl. Zwei weitere Reflexionen desselben unter den nämlichen Umständen und bei gleichbleibender Einfallsebene, verwandeln die Polarisation wieder in die geradlinige, allein die Schwingungsrichtung ist gegen die anfängliche um einen rechten Winkel gedreht (Fresnel's Parallelpipeda).

583. Farben dünner Schichten. — Die Zurückwerfung des Lichtes an den beiden Grenzflächen durchsichtiger dünner Schichten gibt zu Interferenzerscheinungen Anlass, welche durch die Lebhaftigkeit des Farbenspiels schon frühe die Aufmerksamkeit der Forscher erregt hatten. Es gehören dahin die Farben dünner Seifenblasen, dünner Fettschichten auf Wasser, des angelaufenen Stahls, sowie die regenbogenfarbigen Streifen, welche man in Sprüngen und Spalten durchsichtiger Krystalle (Kalkspat, Gyps) bemerkt. Unter dieser letzteren Form ist die Erscheinung zum Erkennen der Gesetzmässigkeiten am Geeignetesten und Newton wusste sie zu diesem Zweck künstlich dadurch hervorzurufen, dass er eine schwach convexe Glaslinse auf eine ebene Glasplatte presste. Die farbigen Ringe, welche in regelmässigen concentrischen Kreisen um die Berührungsstelle auftreten, haben den Namen der Newton'schen Farbenringe erhalten.

Lässt man normal gegen die ebene Platte im Newton'schen Apparat homogenes Licht einfallen, so bemerkt man im Mittelpunct der Erscheinung einen kreisförmigen dunkeln Fleck, diesen umgibt ein heller Ring und es folgt nun eine grosse Zahl von abwechselnd dunkeln und hellen Ringen, welche um so feiner werden, je weiter sie vom Mittelpuncte abstehen. Newton hatte bereits ausgemittelt, dass die Halbmesser $ch, ch', ch'' \dots$ (Fig. 313) der hellen Ringe wachsen, wie die Quadratwurzeln aus den ungeraden Zahlen 1, 3, 5 . . . die Halbmesser $cd, cd' \dots$ der dunkeln Ringe dagegen, wie die Quadratwurzeln aus den geraden Zahlen 2, 4, . . .

Die Dicken $ho, h'o', \dots ds, d's', \dots$ der zwischen beiden Gläsern enthaltenen Luftschichte verhalten sich aber, wie aus der Eigenschaft des Kreises folgt, wie die Quadrate der Abstände $ch, ch' \dots cd, cd' \dots$ vom Mittelpuncte; so dass also die Dicken $ho, h'o', h''o'' \dots$ wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5 . . . die Dicken $ds, d's' \dots$ wie die geraden Zahlen 2, 4, . . . wachsen.

hell, bei $h'o$, $h'o'$, $h'o''$, . . . finden sich dunkle, bei $d's$, $d's'$. . . hell. Die Erscheinung ist bedingt durch die Interferenz des gerade durch den Lichts mit dem Strahl, welcher durchgeht, nachdem er zum

bei h und zum zweitenmale bei o reflectirt worden war. Wenn $h'o$

so macht diess einen Gangunterschied von $\frac{\lambda}{2}$ aus und dieser wird weiter verändert, da beide Reflexionen an einem dichteren Mittel in im Abstände ch entsteht daher ein dunkler Ring.

Man sieht leicht ein, dass im durchgehenden wie im reflectirten der Durchmesser der Ringe mit der Brechbarkeit des Lichtes sich muss. Er verhält sich wie die Quadratwurzel aus den Wellenlänge nun bei Anwendung von weissem Lichte die Maxima und Minima der Stärken der verschiedenen Farben sich nicht decken, so tritt an die von abwechselnd hellen und dunkeln in diesem Falle ein System r genfarbiger Kreise, welche jedoch bei wachsendem Halbmesser immer niger reine Farben zeigen und sich ganz in weissem Lichte verlieren und man bei Anwendung von homogenem Lichte noch weit hinaus dunkle Ringe wahrnimmt.

Die Farbenfolge in diesen Ringen (im reflectirten Lichte) ist von Newton mit Aufmerksamkeit beobachtet und benannt worden ganz ähnliche Reihen in vielen optischen Phänomenen auftreten üblich geworden ist, in diesen Fällen die Terminologie der Ne sehen Ringe zu gebrauchen, so gehen wir noch etwas näher auf trachtung dieser Farben ein.

Von der dunkeln Mitte aus gerechnet treten alle Farben all grösserer Stärke auf, die brechbarsten erreichen ihre grösste Hellig erst, daher der Farbenton an dieser Stelle fast Weiss mit einer sel Hinnegung zu Graublau ist. Etwas weiter wird das Weiss noch dann über folgt, indem die brechbarsten Strahlen nach und nach immer der Lichtstärke treten, Gelb, Orange, Roth. Die genant bilden die Farben erster Ordnung. In den Farben der zweiten un Ordnung ist immer eine Parthie des Spektrums entschieden im J daher diese Farben verhältnissmässig am Feinsten hervortreten. I sert sich aber der Gangunterschied so weit, dass er ein ngerades ches von $\frac{\lambda}{2}$ mehrer oder endlich sehr vieler ungleich Brechbareri

ausmacht und gleichzeitig mehrere und endlich sehr viele andre zwis nen liegenden Strahlen des Spektrums ins Maximum treten, so we Farben immer matter und verlieren sich endlich in Weiss. Zerl selches weisses Licht, welches in einem im Abstände von der noch gefärbten Ringen durch den Newton'schen Apparat gegangen ist, Prisma, so findet man das Farbenspiel von vielen dunkeln Streifen schatten, entsprechend allen den Lichtstrahlen, welche bei dem betr Gangunterschiede aufgehoben worden sind.

Die Farbenscale der Newton'schen Ringe wird in folgender bezeichn.

- Erste Ordnung: Schwarz, Lavendelblau, Blausgrün, fast weis, Orange, Roth.
- Zweite Ordnung: Purpur, Violett, Indigo, Himmlisblau, Hellgrü helles Gelb, Carmoisinroth.
- Dritte Ordnung: Violett, Indigo, Blausgrün, Gelb, Blausroth weis.
- Vierte Ordnung: Bläulich Roth, dunkles Grün, Grauroth, Fleh
- Fünfte Ordnung: Blasses Blaugrün, Blasses Roth.

Von hier an wechseln nur noch blasses Grün mit blassem Roth. — Im abgehenden Lichte sind aus den oben angeführten Gründen die Farben complementären.

Der Gedanke, welchen schon Newton hegte, dass die natürlichen Farben der Körper auf ähnliche Art entstehen möchten, wie die Farben dünner Platten, ist in späteren Zeiten wieder aufgenommen und namentlich von (ede*) ausführlicher entwickelt worden.

Wenn ein Körper, von weissem Lichte bestrahlt, farbig erscheint, so dies ein Beweis, dass gewisse Elementarbestandtheile des weissen Lichts unterdrückt wurden und nur die übrigen Strahlen, von dem Körper wieder ausgehend, in unser Auge gelangen. Die Farben, welche farbige Körper im reflectirten Lichte, oder durchsichtige gefärbte Substanzen im abgehenden Lichte zeigen, sind selten von homogener Beschaffenheit. Nach Zerlegung mit dem Prisma findet man leicht, welche Elementarbestandtheile dieselben einschliessen. Ein Smalteglas von 2 Millimeter Dicke lässt nur noch Roth und Violett mit merklicher Stärke durch, eine concentrische Lösung von zweifach chromsaurem Kali nur Roth, Orange und Blau, während alle übrigen Strahlen völlig ausgelöscht sind.

Setzt man einen Körper von ziemlich homogener Färbung der Bestrahlung durch homogenes aber andersfarbiges Licht, z. B. eigen rothen Körper durch grünes oder homogen gelbem Licht aus, so erscheint er fahl, aschfarben. Ein rothes und ein grünes Glas hintereinander gelegt, löschen das Licht beinahe vollkommen aus. Die Strahlen erleiden daher in den farbigen Substanzen keine Umsetzung in eine andre Farbe, sondern die Färbung kommt allein dadurch zu Stande, dass aus dem einfallenden Lichte gewisse Strahlen von der farbigen Substanz zurückgehalten werden.

Diese Absorption scheint erst nach Durchlaufung einer Schicht von gewisser Dicke merklich zu werden. In sehr dünnen Schichten erscheinen auch lebhaft gefärbte Körper blass oder farblos; ein Strich der meisten farbigen Mineralien ist blasser als die Körper in grösseren Stücken. Scheinbar farblose Körper, wie die Luft, das Wasser, nehmen in dicken Schichten Färbung an. In Wasser muss doch bei manchen Substanzen die Schichte, in welcher die Absorption zu Stande kommt, ausserordentlich dünn sein; so z. B. die lebhaft rothe Farbe des feinsten Poliermittels, des Eisenoxydpulvers, beweist.

Einen eigenthümlichen Anblick bietet das prismatische Farbenbild solchen Lichtes dar, welches durch gewisse farbige Gase, wie Jod- oder Bromgas, oder durch salpetrigsauren Dampf gegeben war. Man bemerkt eine grosse Menge schwarzer Streifen, bei Jodgas etwa 100, bei salpetrigsaurem Dampf etwa 2000, welche das Farbenbild in der Art der Fraunhoferschen Linien durchschneiden. Die Erscheinung ist in dieser Beziehung die nämliche, als wenn man ein Weiss sehr hoher Ordnung zerlegt hätte; es unterscheidet sich aber insofern, als die farbigen Gase noch ausserdem gewisse Farbenräume des Spectrums, wie z. B. Jodgas das Grün und Hellblau, schwächen, oder ganz unterdrücken. (ede hat nachgewiesen, dass sich alle diese Absorptionen aus

*) Pogg. Ann, XXXIII, 353.

Doppelte Brechung.

584. Die ungleich grosse Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes in verschiedenen Substanzen beweist den Einfluss der Natur und Gruppierung der Moleküle auf die Lichtfortpflanzung. Man hat indessen diesen Einfluss noch nicht gewusst, da die Abhängigkeit der brechenden Kraft von ihrer chemischen Zusammensetzung, ihrer Dichtigkeit etc. zur Zeit noch in Dunkel gehüllt ist. Indessen sind doch eine Klasse von Erscheinungen, welche die Verbreitung des Lichtes von der physikalischen Beschaffenheit der Materie in überraschend regelmässiger Weise die Erscheinungen der Doppelbrechung in Krystallen zeigen.

In amorphen Substanzen, wie Luft, Wasser, Glas, Krystallen des regulären Systems, ist die Constitution nach allen Richtungen hin eine nämliche und in ihnen sich das Licht auch nach allen Richtungen mit gleicher Geschwindigkeit ausbreitet. — In den Krystallen des quadratischen, rhombischen, monoklinometrischen und triklinometrischen Systems ist die Materie nicht in jeder Richtung gleich. Schon die Verhältnisse der Kantenwinkel lassen hieraus erkennen, dass die Materie in verschiedenen Richtungen verschiedene Eigenschaften besitzt. Schon die Versuche Savart's über Elasticität, Mitscherlich's über Ausdehnung durch die Wärme, Senarmont's und Brewster's über die Verbreitung der Wärme und Elektricität in Krystallen zeigen die Richtung, welche diese Krystalle zwischen den verschiedenen Richtungen besitzen.

reinstimmender Weise kund, als ein Lichtstrahl beim Ein-
 gen in jeden solchen Krystall im Allgemeinen in zwei Strah-
 gespalten wird, welche dann geradlinig und rechtwinklig ge-
 einander polarisirt sind. Uebrigens lassen sich die doppel-
 henden Körper in zwei grosse Gruppen sondern. In den Kry-
 len des quadratischen (Honigstein, Apophyllit) und des hexa-
 alen (Kalkspath, Bergkrystall) Systems findet sich immer ein e-
 stung, in welcher ein Strahl fortgehen kann, ohne doppelt ge-
 hen und polarisirt zu werden. Diese Richtung, welche immer
 für alle Farbenstrahlen mit der krystallographischen Haupt-
 zusammenfällt, heisst die optische Axe; die Krystalle der
 ähnten Systeme sind optisch einaxige genannt worden.
 Kalkspathe, welcher in Rhomboedern vorkommt, ist die Axe
 ch die Verbindungslinie derjenigen Ecken gegeben, welche von
 stumpfen Winkeln gebildet werden. Im Bergkrystalle ist die
 den Seitenflächen der sechseckigen Säule parallel.

In den Krystallen des rhombischen (Arragonit, Salpeter, To-
) monoklinometrischen (Borax, Adular, Gyps) und triklinome-
 chen (Kupfervitriol) Systems finden sich zwei Richtungen, in
 chen ein Strahl weder doppelt gebrochen, noch polarisirt wird.
 se Körper heissen daher optisch zweiaxige.

Wenn man aus einem optisch einaxigen Krystalle Prismen
 leift, in verschiedener Lage gegen die optische Axe, und die
 chungscoefficienten in den beiden Farbenbildern, welche man
 erhält, etwa mit Benutzung der Fraunhofer'schen Linien*)
 ist, so ergibt sich, dass die Brechungsverhältnisse in dem
 en Farbenbilde unter allen Umständen die nämlichen bleiben.
 Einem Nikol findet man, dass die Schwingungen des Aethers
 diesen Strahlen stets rechtwinklig zur Axe gerichtet sind. Es
 hat dieser Strahl, welcher ganz dem Snellius'schen Bre-
 nungsgesetze folgt, der ordentlich gebrochene, (O). —

Brechungsverhältnisse im zweiten Farbenbilde ändern sich,
 nach der Neigung der brechenden Flächen des Prismas gegen
 optische Axe. Sie unterscheiden sich von denjenigen des
 hles O am meisten, die Doppelbrechung wird also am stärk-
 t, wenn die brechende Kante des Prismas der optischen Axe
 ttel läuft, der Strahl sich also in einer zur optischen Axe
 ttwinkligen Richtung fortpflanzt. Eine Untersuchung mit dem
 al lehrt, dass die Schwingungen dieses Strahls immer in einer
 me liegen, welche durch die optische Axe und den Strahl selbst
 t; dass sie also nach der optischen Axe selbst gerichtet sind,
 an der Strahl rechtwinklig zu dieser Richtung fortgeht. Jene
 ne hat den Namen Hauptschnitt erhalten. Die Schwin-

*) Rudberg, Pogg. Ann. XIV, 45, XVII, 1.

gungen des ordentlichen Strahls stehen immer senkrecht dem Hauptschnitt; der Strahl, dessen Schwingungen in dem Hauptschnitt fallen, heisst der ausserordentlich gebrochene, (*E*).

Diese Erscheinungen in ihrer Gesammtheit haben Fresnel zu der Annahme geführt, dass in den optisch-einaxigen Krystallen die Elasticität des Aethers in allen zur Axe rechtwinkligen Richtungen gleich, in Richtung der Axe selbst aber entweder grösser oder kleiner sei, und zwischen diesen beiden Hauptrichtungen stetig zu- oder abnehme. Es harmonirt diese Vorstellung mit der Gestalt und den übrigen physikalischen Eigenschaften dieser Krystalle, welche sich ebenfalls in allen zur Hauptaxe rechtwinkligen Richtungen gleich verhalten. — Wenn man sich von einem Punkte im Innern des Krystalls nach allen denkbaren Richtungen aufgetragen denkt, deren Länge proportional ist den in diesen Richtungen ins Spiel gesetzten Elastizitäten, so liegen diese Punkte in einer Umdrehungsfläche, von Fresnel die Elasticitätsfläche genannt. Die Rechnung lehrt die Gestalt dieser Fläche finden, wenn das Verhältniss der Elastizitäten in den Hauptrichtungen (parallel und rechtwinklig zur Axe) bekannt ist.

Dieses Verhältniss ist aber das nämliche, wie das der Quadrate der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten derjenigen Strahlen, welche ein parallel zur Axe geschnittenes Prisma durchdringen. Es genügt daher zur Charakterisirung eines optisch-einaxigen Krystalls vollkommen, in einem solchen Prisma die Brechungscoefficienten der sieben Hauptstrahlen im ordentlichen ausserordentlichen Bilde zu kennen. — In manchen Krystallen wie z. B. im Kalkspath ist *E* weniger stark gebrochen, als *O*. Diese Krystalle heissen heissen replectiven oder negative. In den attractiven oder positiven Krystallen, wie z. B. im Bergkrystall, ist der ausserordentliche Strahl stärker gebrochene.

Eine ebene Welle gewöhnlichen Lichtes, welche in einen optisch-einaxigen Krystall eindringt, setzt sich mit ihren nach allen möglichen Richtungen gerichteten Schwingungen die Elasticitäten ins Spiel, welche in ihr durch den Mittelpunkt der Elasticitätsfläche geführter Schnitt in den Richtungen darbietet. Nach Durchdringung einer sehr dünnen Schicht haben sich alle diese Schwingungen nach den Richtungen der grössten der kleinsten der in diese Ebene fallenden Elasticitäten zerlegt, in beiden Componenten von gleicher Intensität pflanzen sich mit ungleichen Geschwindigkeiten fort, proportional den Quadratwurzeln aus den ins Spiel gesetzten Elasticitäten. Denkt man sich diese Geschwindigkeiten, in den rechtwinklig zu einander polarisirten Wellen, in welche die ebene Welle sich auflöst, in der Fortpflanzungsrichtung derselben nach beiden Seiten hin aufgetragen und die nämliche Construction um den Mittelpunkt der Elasticitätsfläche für jede denkbare Richtung der ebenen Welle führt, so hüllen die Wellen, wenn sie eine gleiche Zeit mit diesen Geschwindigkeiten fortgeschritten sind, zwei krumme Oberflächen ein, welche

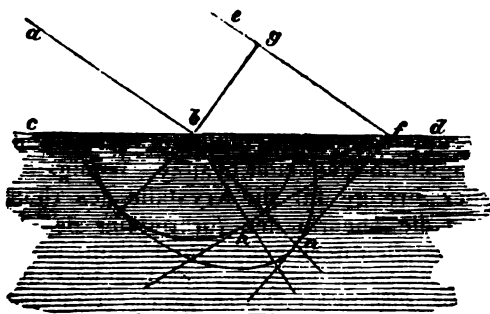
Wellenoberfläche einaxiger Krystalle bilden. Die Wellens ordentlichen Strahls ist immer eine Kugel, so gut wie diess im Wasser, oder in Krystallen des regulären Systems (Alaun, Steinr Fall ist. Die Wellenfläche des ausserordentlichen Strahls ist ein Ellipsoid, dessen Umdrehungsaxe mit der optischen Axe zusammen und immer dem Durchmesser der Wellenfläche O an Länge gleich ist. In den negativen Krystallen hüllt das Ellipsoid die Kugel, in den positiven die Kugel das Ellipsoid ein.

Die Umdrehungsaxe und der Durchmesser des Aequators des Wellenellipsoid verhalten sich wie die Brechungsverhältnisse des ausserordentlichen und ordentlichen Strahls. Kalkspath und Bergkrystall sind diese Verhältnisse die folgenden:

	Kalkspath.		Bergkrystall.	
	O	E	O	E
B	1,65308	1,48391	1,54090	1,54990
C	1,65452	1,48455	1,54181	1,55085
D	1,65850	1,48635	1,54418	1,55328
E	1,66360	1,48868	1,54711	1,55631
F	1,66802	1,49075	1,54965	1,55894
G	1,67617	1,49453	1,55425	1,56365
H	1,68330	1,49780	1,55817	1,56772

für ein auf einen Kalkspathkrystall fallenden Strahl ab ef , (Fig. 314), die Richtung der gebrochenen Strahlen bc fd zu finden, wie diess No. 579 für die Brechung geschehen ist, nehmen wir zunächst an,

Fig. 314.



Die Ebene $abef$ falle mit einem Hauptschnitt zusammen und bestimme die Construction auf den Strahl D . Während der Punkt g von der Welle bc den Weg gf durchläuft, hat sich von dem Punkt b die Welle des ordentlichen Strahls kugelförmig, die Welle des ausserordentlichen Strahls in Gestalt eines Ellipsoids ausgebreitet. (Experimentalphysik.)

breitet. Es verhalten sich der Durchmesser der Kugel t kleine Axe (b) des Ellipsoids zu gf , wie $1 : 1,658$; die Axe (a) des Ellipsoids zu gf , wie $1 : 1,486$, also

$$gf : b : a = 1 : 0,603 : 0,673.$$

Aehnliche Wellen, nur mit verhältnissmässig kürzere messern, werden sich von allen zwischen b und f liegenden Punkten ausgebreitet haben, und die ebenen Wellen fk welche sämtliche Kugelwellen oder sämtliche elliptische Wellen berühren, gehören dem ordentlich oder dem ausserordentlich gebrochenen Strahl an. Die Richtung dieser Strahlen sei dh und dn . Wie man sieht, steht nur der Strahl O der zugehörigen ebenen Welle rechtwinklig, für den Strahl E im Allgemeinen nicht mehr. Wenn die Einfallsebene nicht in einem Hauptschnitte zusammenfällt, so lehrt die Constante dass der ausserordentlich gebrochene Strahl dann selbst aus der Einfallsebene heraustritt; bei dem ordentlich gebrochenen Strahl ist dies niemals der Fall.

Wenn eine ebene Welle gewöhnlichen Lichtes in der Richtung der optischen Hauptaxe fortschreitet, setzen die Schwingungszahlen eine gleiche Elasticität ins Spiel und werden daher mit der Geschwindigkeit fortgepflanzt; jeder Grund einer Polarisirung oder Doppelbrechung fällt somit weg.

Die Brechungsverhältnisse der Substanzen überhaupt ändern sich mit der Temperatur. Die Aenderung ist aber bei den doppelbrechenden Körpern im ordentlichen und ausserordentlichen Strahl nicht gleich, dass die Stärke der doppelbrechenden Kraft von der Temperatur abhängig erscheint^{*)}. Bei dem Kalkspathe z. B. vermindert sie sich, wenn derselbe erwärmt wird und es steht diese Abnahme offenbar in Zusammenhang mit der Formänderung des Krystalls, welcher sich bei der Erwärmung der Hauptaxe am stärksten ausdehnt, so dass das Rhomboeder immer mehr der Würzelform nähert.

555. In den optisch-zweiaxigen Krystallen findet bei keiner der beiden Strahlen die ordentliche Brechung. Es gelang es, die optischen Erscheinungen, welche diese Krystalle darbieten, sämmtlich aus der Annahme zu erklären, dass der Krystall nach drei zu einander rechtwinkligen Richtungen (Elasticitätsaxen) ungleiche Elasticität besitze. Wenigstens genügt diese Theorie in aller Strenge für die Krystalle des rhombischen Systems, während die Theorie der Verbreitung des Lichts in schiefaxigen Krystallen noch einige Dunkelheiten darbietet.

Die Elasticitätsfläche ist bei den zweiaxigen Krystallen keine ebene drehungsfläche mehr, sondern hat drei aufeinander rechtwinklige Hauptaxen, deren Verhältniss für jeden Krystall aus den Brechungsexponenten derjenigen Strahlen abgeleitet werden kann, welche den drei Richtungen dieser Axen in Bewegung setzen. Es sei a die grösste, b die mittlere, c die kleinste Elasticitätsaxe. Schleift man ein Prisma so, dass die mit kleinster Ablenkung durchgehenden Strahlen sich in der Richtung

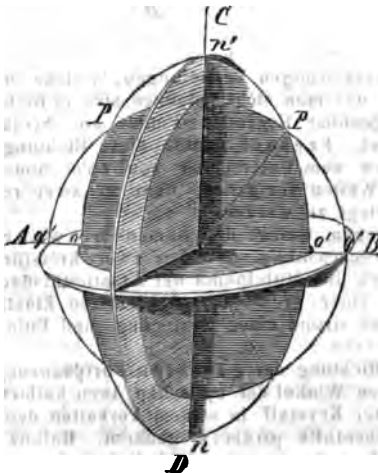
^{*)} Rudberg in Pogg Ann. XXVI, 291.

bewegen, so sind die beiden Farbenbilder so polarisirt, dass sie den Aether in der Richtung von c und von b in Bewegung setzen. Man erhält aus dieser Messung den grössten (n) und den mittleren (n') der drei charakteristischen Brechungscoefficienten des Mittels. Ein zweites Prisma, durch welches die Strahlen in ihrer kleinsten Ablenkung in der Richtung b gehen, gibt zwei nach c und a schwingende Strahlen, welchen der grösste (n) und kleinste (n'') der drei Brechungscoefficienten angehören. Ein drittes Prisma, in welchem die Strahlen sich in der Richtung von c bewegen, dient zur Controle der vorhergehenden Messungen die Brechungsverhältnisse n' und n'' liefern. Rudberg*) hat diese Messungen am Arragonit und am Topase ausgeführt. Die Grössen $\frac{1}{n}$, $\frac{1}{n'}$, $\frac{1}{n''}$ sind den Fortpflanzungsgeschwindigkeiten in den drei Hauptrichtungen, die Grössen $\frac{1}{n^2}$, $\frac{1}{n'^2}$, $\frac{1}{n''^2}$, der kleinsten, mittleren, und grössten Elasticität des Aethers in der Richtung der Elasticitätsaxen proportional.

Jede in einen zweiaxigen Krystall eindringende ebene Welle gewöhnlichen Lichtes löst sich in zwei andere ebene, rechtwinklig gegeneinander polarisirte Wellen auf.

Um die Schwingungsrichtungen zu finden, hat man nur parallel mit der Ebene eine Ebene durch den Mittelpunkt der Elasticitätsfläche zu legen, welche dieselbe jedesmal nach einer geschlossenen Curve schneidet. Der grösste und kleinste Durchmesser geben die Schwingungsrichtung an; und die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der beiden polarisirten Wellen sind den Quadratwurzeln aus diesen Durchmessern proportional. Denkt man sich diese ebene Wellen in allen denkbaren Richtungen durch den Mittelpunkt der Elasticitätsfläche gelegt, und dann gleichzeitig mit den eben genannten Geschwindigkeiten in Bewegung gesetzt, so hüllen sie nach einem gewissen Zeitabschnitt die Wellenfläche der zweiaxigen Krystalle ein. Fresnel gelang es, die Gleichung dieser verwickelten Wellenfläche, welche in Fig. 315 nach ihren Durchschnitten mit den drei

Fig. 315.



*) Pogg. Ann. XVII, 1.

durch die Elasticitätsaxen gelegten Coordinatenebenen dargestellt ist, zuleiten.

In dem horizontalen Durchschnitte umschliesst eine Ellipse, deren der grössten (v) und mittleren (v') Fortpflanzungsgeschwindigkeit v sind, einen Kreis, welcher das Mass der kleinsten Fortpflanzungsgeschwindigkeit (v'') zum Radius hat. — In dem von Vorn nach Hinten gerichteten vertikalen Durchschnitte umschliesst ein Kreis, dessen Radius dem der grössten Fortpflanzungsgeschwindigkeit (v) gleichkommt, eine Ellipse, deren Axen gleich v' und v'' sind. — In dem andern vertikalen Durchschnitte durchschneidet ein Kreis vom Halbmesser v' eine Ellipse, deren Axen v und v'' sind.

Dieser letztere Durchschnitt ist der interessanteste, er ist deshalb Fig. 316 noch einmal besonders gezeichnet. Die Punkte P, P' sind

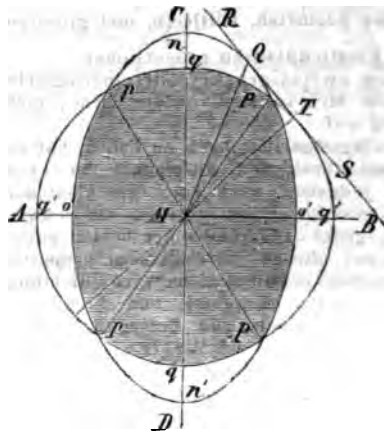


Fig. 316.

Spitzen von trichterförmigen Vertiefungen, welche in der Wellenfläche halten sind, und, wie man sieht, pflanzen sich in Richtung der Verbindungslinien jener gegenüber liegenden Punkte nur Strahlen von einerlei Geschwindigkeit fort. Fresnel nannte diese Richtungen die scheinbaren optischen Axen zum Unterschied von zwei andern Richtungen M welchen ebene Wellen fortgehen, ohne in zwei rechtwinklig polarisierten Wellenebenen zerlegt zu werden.

Diese Richtungen, welche den Namen der wahren optischen Axen führen, stehen rechtwinklig auf den zwei kreisförmigen Durchschnitten, welche sich durch den Mittelpunkt der Elasticitätsfläche führen lassen. Dem Unterschied einer grössten und kleinsten Elasticität in diesen Durchschnitten fällt der Grund einer Zerlegung und Polarisierung der Lichtstrahlen weg.

Wenn die Richtung der grössten Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes den spitzen Winkel der optischen Axen halbirt, wie z. B. im Topas, so nähert sich der Krystall in seinem Verhalten den positiv-einaxigen Krystallen und wird deshalb ebenfalls positiv genannt. Halbirt dagegen die Richtung der kleinsten Fortpflanzungsgeschwindigkeit den spitzen Winkel der optischen Axen, wie z. B. im Arragonit, so nähert sich der Krystall in seinem Verhalten den negativ-einaxigen Krystallen und wird darum ebenfalls negativ genannt. Die Halbierungslinie des spitzen Winkels der optischen Axen hat den Namen

ttellinie, die Halbierungslinie des stumpfen Winkels den Namen der elementarlinie und die auf beiden rechtwinklige Axe den Namen der optischen Axen erhalten*).

Die Wellenfläche zweiaxiger Krystalle kann zur Bestimmung der Richtungen der gebrochenen Strahlen ebenso benutzt werden, wie dies S. 641 für einaxige Krystalle ausgeführt wurde. Die beiden Strahlen gehen im Allgemeinen aus der Einfallsebene ab und haben keine constanten Brechungsverhältnisse. Um ihre Schwingungsrichtung zu finden, legt man durch den Strahl und die beiden scheinbaren optischen Axen Ebenen. Die Schwingungsrichtung des einen Strahls halbirt den spitzen, die des andern Strahls den stumpfen Winkel jener beiden Ebenen.

Man stellt ein Lichtstrahl dergestalt auf einen zweiaxigen Krystall, dass die einfallende Welle rechtwinklig auf MT , Fig. 316, vorschreitet, so wird man in jedem andern Falle die Richtung der gebrochenen Strahlen finden kann man parallel mit der gedachten Welle Berührungsebenen an die Wellenfläche legt. In jedem andern Falle aber erhält man zwei Berührungsebenen und diesen entsprechend, und nach ihren Berührungspunkten zwei gebrochene Strahlen. Eine zur MT rechtwinklige Ebene aber tangirt die Wellenoberfläche nach einem Kreise, von dem Durchmesser QT , Fig. 316, indem sie die trichterförmigen Vertiefungen der Wellenfläche deckt. Jeder dieser gebrochenen Strahlen hat man in diesem Falle unzahlige Berührungsebenen nach allen Punkten im Umfang jenes Berührungskreises gehen. Wenn man eine Krystallplatte mit zwei parallelen zur optischen Axe rechtwinkligen Flächen z. B. eine Arragonitplatte (von wenigstens 1 Centimeter Durchmesser) an, so werden alle jene Strahlen, welche von einem Punkte herkommen im Innern des Krystalls kegelförmig auseinander gehen, nach dem Eintritt dem einfallenden Lichte parallel und gehen daher in einer cylindrischen Strahlenhülle fort. Dieser merkwürdige Fall der Brechung wird daher die cylindrische, oder innere kegelförmige Refraction ge-

Sind v, v', v'' die grösste, mittlere und kleinste Geschwindigkeit in drei Hauptrichtungen eines optischen zweiaxigen Krystalls, n'', n', n die entsprechenden Brechungscoefficienten, so ist $n'' = \frac{1}{v}, n' = \frac{1}{v'}, n = \frac{1}{v''}$. Die Gleichungen der Ellipse und des Kreises in der Ebene der optischen Axen sind:

$$n''^2 y^2 + n^2 x^2 = 1, \text{ und: } n'^2 (y^2 + x^2) = 1.$$

In diesen beiden findet man die Abscisse und Ordinate des Durchgangspunctes ausgedrückt, wie folgt:

$$x^2 = \frac{1}{n^2} \cdot \frac{n'^2 - n''^2}{n^2 - n''^2}; \quad y^2 = \frac{1}{n'^2} \cdot \frac{n^2 - n''^2}{n^2 - n''^2}$$

Man kann den Winkel der scheinbaren optischen Axe mit der Mittelachse, so ist

für positive Krystalle: für negative Krystalle:

$$\sin^2 \alpha = n'^2 \cdot x^2 = \frac{n'^2 - n''^2}{n^2 - n''^2}; \quad \sin^2 \alpha = n'^2 y^2 = \frac{n^2 - n''^2}{n^2 - n''^2}$$

Man so leicht lässt sich der Winkel der wahren optischen Axen mit der Mittelachse finden:

$$\sin^2 \beta = \frac{n^2}{n''^2} \cdot \frac{n'^2 - n''^2}{n^2 - n''^2}; \quad \sin^2 \beta = \frac{n''^2}{n'^2} \cdot \frac{n^2 - n''^2}{n^2 - n''^2}$$

Die Strahlen, welche längs den scheinbaren optischen Axen, ab Richtungen MP , Fig. 316, fortgehen, können, da an den Punkten P Wellenebenen berühren, welche ungleiche Abstände von M , also Fortpflanzungsgeschwindigkeiten haben, aus der Brechung sehr vielen hervorgegangen sein, welche in allen möglichen Azimuten, verschiedenen Incidenzen auf die Krystalloberfläche trafen. Ebenfalls diese längs MP fortgehenden Strahlen beim Austritt aus dem Krystall, sprechend den verschiedenen Geschwindigkeiten ihrer Wellen, unbrochen werden, und somit in einem kegelförmigen Bündel ausweichen, eine Erscheinung, welche den Namen der äusseren Krystalligen Refraction erhalten hat.

Auch die Erscheinungen der Zurückwerfung an doppelbrecherischen Medien sind nicht so einfach, als diejenigen an isophanen Mitteln. Denn die Polarisation ist von der Neigung der reflectirenden Fläche Einfallsebene gegen die Krystallaxen abhängig. Bei der inneren Reflexion entsprechen einem einfallenden im Allgemeinen zwei reflectirte Strahlen, welche nicht immer in der Einfallsebene bleiben. — Mit zunehmendem Brechungscoefficienten tritt auch bei den Krystallen die elliptische Polarisation immer mehr hervor, so dass die undurchsichtigen metallisch glänzenden Krystalle, wie z. B. Realgar und Bleiglanz, sich in dieser Beziehung Metallen ähnlich verhalten.

586. Farbenerscheinungen der Krystalle im polarisirten Lichte. — Die Farbenerscheinungen an Krystallplatten im polarisirten Lichte zeigen, was zum grossen Theil bekannt, die Gesetzmässigkeiten, unter welchen sie auftreten, namentlich von Biot und Arago, so wie von Young (1814), studirt und zum Theil schon erklärt, ehe Brewster in seinem berühmten „mémoire sur la double réfraction“ die Erscheinungen der doppelten Strahlenbrechung aus der Annahme von Transversalwellen und einer nach verschiedenen Richtungen ungleichen Elasticität des Aethers vollständig entwickelt hatte.

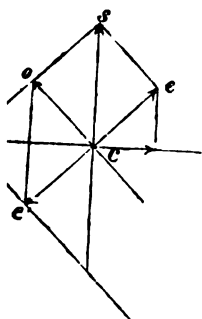
Wenn man eine Platte eines doppelbrechenden Krystalls zwischen zwei parallelen Flächen nicht gerade rechtwinklig auf einander stehen, zwischen die gekreuzten Spiegel des Arago'schen Apparates oder zwischen gekreuzte Nikols bringt, so dass sie in ihrer eigenen Ebene dreht, so findet man zwei zu einander senkrechte Lagen, in welchen die Platte ohne Einfluss auf die Beschaffenheit des Gesichtsfeldes ist, dieses also dunkel bleibt, wie vorher. In jeder dieser Lagen ist eine der Schwingungen, nach welchen gewöhnliches Licht beim Durchgang durch die Krystallplatte zerlegt wird, parallel mit den Schwingungen des Lichtes vom unteren Spiegel oder vom ersten Nikol kommenden. Diese Schwingungen gehen also unverändert durch, wie wenn sie durch eine Glasplatte gehen würden.

Dreht man dagegen die Krystallplatte in eine der beiden Lagen, in welchen die Schwingungen des polarisirten Strahles senkrecht zu dem Winkel der beiden Polarisationsrichtungen im Krystall stehen, so erblickt man bei Anwendung von weissem Lichte und wenn die Platte hinlänglich dick ist, das Gesichtsfeld hell.

Ist die Krystallplatte keilförmig zugeschliffen und

mogenes Licht an, so zeigt die Platte parallel mit der n Kante des Keils eine grosse Anzahl abwechselnd heller und dunkler Streifen. Dreht man den analysirenden Spiegel oder die Platte um 90° , so treten an die Stelle der dunkeln Streifen helle, und umgekehrt.

Fig. 317.



Gehen wir nun zur Erklärung dieses Phänomens über. Man sieht zunächst ein, dass, wenn die Schwingungsrichtung cs (Fig. 317) des polarisirten Strahls den Winkel der beiden Schwingungsrichtungen im Krystall halbirt, man zwei Seitenschwingungen co und ce von gleicher Stärke erhalten müsse. Diese pflanzen sich jedoch mit ungleicher Geschwindigkeit fort, und nehmen daher einen Gangunterschied an, welcher von der doppelbrechenden Kraft des Krystalls, der Neigung der Flächen der Platte gegen die Axen und übrigen Umständen als gegeben angenommen werden, die Dicke der Platte abhängig und zwar dieser direct proportional.

Wenn diese Umstände als gegeben angenommen werden, so ist die Dicke der Platte abhängig und zwar dieser direct proportional.

Gehen wir zunächst die Stellen der keilförmigen Krystallplatte in Betracht, an welchen der Gangunterschied der beiden Strahlen eine Anzahl ganzer Wellenlängen ausmacht, so wirken die Seitenschwingungen bei ihrem Austritt aus der Platte auf die beiden Spiegeln im Sinne von co und ce (Fig. 317). Die beiden Schwingungen sind daher nach cs den ursprünglichen Schwingungen parallel gerichtet und können daher nur bei parallelen Spiegeln reflectirt werden. Alle diese Stellen erscheinen bei parallelen Spiegeln dunkel. Betrachten wir nunmehr diejenigen Stellen, an welchen der Gangunterschied der Strahlen O und E eine ungerade Anzahl halber Wellenlängen gleichkommt, so im Austritt der Strahlen aus der Platte ein Aethertheilchen des Strahls E in der Richtung ce' bewegt, in dem Augenblick, wenn der Strahl O es nach co treibt. Es bewegt sich daher der Resultirende cs' , und diese Schwingungen werden bei parallelen Spiegeln reflectirt; die betreffenden Stellen erscheinen bei diesen Umständen hell, bei parallelen Spiegeln dagegen

Bei ungerader Anzahl halber Wellenlängen gleichkommt, so im Austritt der Strahlen aus der Platte ein Aethertheilchen des Strahls E in der Richtung ce' bewegt, in dem Augenblick, wenn der Strahl O es nach co treibt. Es bewegt sich daher der Resultirende cs' , und diese Schwingungen werden bei parallelen Spiegeln reflectirt; die betreffenden Stellen erscheinen bei diesen Umständen hell, bei parallelen Spiegeln dagegen

Die Streifen, welche die keilförmige Platte zeigt, sind aus beiden Gründen breiter im homogenen rothen Lichte, als im blauen und violetten, und bei Anwendung von weissem Lichte zeigen sie regenbogenfarbige Bänder auf, in ihrer Farbenfolge ganz den Newton'schen Ringen, und zwar bei gekreuzten Spiegeln

geln derjenigen im reflectirten, bei parallelen Spiegeln derjenigen im durchgehenden Lichte entsprechend. Die Farben verlieren sich bei einiger Dicke der Platte bald in einem Weiss höherer Ordnung.

Wenn man hinlänglich dünne Platten mit parallelen Flächen wie man sie namentlich aus dem leichtspaltbaren Gyps von Fontainebleau und aus Glimmer erhalten kann, in der oben beschriebenen Lage in den Polarisationsapparat bringt, so erscheinen sie gleichmässig gefärbt. Die Farbe verschwindet, wenn man der Ebene fallsebene des analysirenden Spiegels ein Azimut von 45° giebt, weil dann nur die eine Composante der im Krystall zerlegten Schwingungen, also entweder nur der Strahl O oder der Strahl E reflectirt wird. Bei einem Azimut von 90° tritt die complementäre Färbung auf.

Um zu bestimmen von welcher Ordnung der Farbenton des Krystallblättchens ist, kreuzt man dasselbe mit einer keilförmigen Platte, so dass die Schwingungsrichtungen von O in dem Plättchen mit der Schwingungsrichtung von E in dem Keile zusammenfällt. An der Stelle, an welcher der Keil mit der Platte gleichmässig die Dicke hat, ist der farbige Streif bei gekreuzten Spiegeln durch eine dunkle, bei parallelen Spiegeln durch eine helle Farbe ersetzt.

Eine rechtwinklig gegen die optische Axe geschnittene Platte von Kalkspath, oder eines andern optisch-einaxigen Krystalls (mit Ausnahme des Bergkrystalls) zeigt unter den angegebenen Umständen keine Einwirkung auf das polarisirte Licht, wie dünn man dieselbe auch wählen mag. Bringt man aber eine solche Platte zwischen zwei gekreuzten Turmalinen dicht vor das Auge, so dass man noch in solchen Richtungen durchzusehen vermag, welche merkliche Winkel mit der optischen Axe machen, so erblickt man die Erscheinung Fig. 2. Pl. VI; das helle Feld von schwarzen Büscheln durchschnitten, welche rechtwinklig in einem Kreuz zusammenstossen und um den Mittelpunkt concentrische farbige Ringe, von einer ähnlichen Farbenfolge, wie in den oben beschriebenen Streifen der keilförmigen Krystallplatte. Stellt man die beiden Turmaline parallel, so geht das schwarze Kreuz in ein weisses, die Farben der Ringe gehen in die complementäre über *).

*) Da die Turmaline das durchgehende Licht immer mehr oder weniger färben, so muss man sich, wenn man die Interferenzfarben in voller Schönheit sehen will, anderer Vorrichtungen bedienen. Man kann das Licht durch Brechung in einem Bündel sehr dünner Glasplatten polarisiren und dann durch eine Convexlinse in einen Punkt concentriren. Stellt man hier die Krystallplatte rechtwinklig gegen die Axe des Strahlenbüschels auf, so werden die einzelnen Strahlen in sehr verschiedenen Neigungen gegen die optische Axe durchlaufen. Eine zweite Linse macht die Strahlen parallel

Da man weiss, dass mit der Neigung gegen die optische Axe der Gangunterschied des ordentlichen und ausserordentlichen Δ zunimmt, so bedarf die Entstehung der concentrischen Ringe keiner weiteren Erklärung. Der Gangunterschied ist Δ auch der Dicke der Platte proportional, daher die Ringe so weiter auseinander rücken, je dünner man die Platte Δ ist. — Denken wir uns die Axe des polarisirenden Turmalins Δ horizontal, die des analysirenden horizontal, so werden alle Strahlen welche in einer durch den optischen Mittelpunkt des Auges Δ und rechtwinklig zur Krystallplatte gestellten Vertikal-Horizontalebene den ersten Turmalin durchdringen, in der Δ eben die Turmaline geschobenen Krystallplatte nicht zerlegt, die Schwingungen der ersteren sämmtlich im Hauptschnitt, Δ letzteren rechtwinklig gegen den Hauptschnitt gerichtet Δ .

Diese Schwingungen ändern ihre Richtung nicht und werden daher vom zweiten Turmalin nicht durchgelassen; daher das Δ schwarze Kreuz. Dass dasselbe eine gewisse Breite hat, erklärt Δ daraus, dass auch die in der Nähe jener Ebene vorbeigehenden Δ Strahlen eine geringe Zerlegung erfahren, und daher im- Δ noch grösstentheils von dem zweiten Turmalin aufgehalten Δ werden.

Die Anordnung der Farben in den kreisförmigen Ringen wird Δ durch das Verhältniss der Doppelbrechung für die verschiedenen Δ Strahlen einigermassen bedingt. Sie kann durch diesen Δ nur dann wesentlich geändert werden, wenn jenes Ver- Δ hältniss ein abnormes ist, wie z. B. in dem Apophyllit, welcher Δ ein positiver Krystall auf die brechbareren Farben, als negativer Δ auf die weniger brechbaren Strahlen wirkt und sich für einen Δ reinen Strahl einfach brechend verhält.

Die Ringsysteme, welche zweiaxige Krystalle im Δ polarisirten Lichte zeigen, unterscheiden sich so auffallend von Δ denen einaxiger, dass die Mineralogen diese Erscheinungen Δ als bequemes Unterscheidungszeichen der Species und der Δ Ringensysteme benutzen. Ein senkrecht zur Mittellinie Δ durchschnittenen Arragonit gibt zwischen gekreuzten Turmalinen Δ eine charakteristische Farbenerscheinung (Fig. 3. Pl. VI.). Das schwarze Kreuz Δ tritt sich wie bei den einaxigen Krystallen. Die Form der Δ farbigen (isochromatischen) Curven beweist, dass hier Δ ein Gangunterschied von O und E im zusammengesetzten Ver-

führt sie zum Zerlegungspegel, eine dritte Linse endlich lässt sie nach Δ einander convergiren. Soleil hat diesen Apparat, allerdings noch mit Anwen- Δ dung einer Turmalinplatte, so eingerichtet, dass man im horizontalen Sinne Δ die Platten eben und ihn somit direkt nach einer Lichtquelle richten kann. Die Δ Plattenhalter gestatten eine Wendung der Platte, so dass man in verschie- Δ denen Neigungen gegen die Axe durchsehen kann.

hältnisse des Abstandes von beiden optischen Axen wäc Lemniscate hat die Eigenschaft, dass für jeden Punct c lichen Curve das Produkt der Abstände von zwei festen ein constantes ist.

Dreht man die Krystallplatte zwischen den gekreuz malinen so, dass die Ebene der Axen den Winkel der Schwingungsrichtungen der Turmalinen halbirt, so ξ schwarze Kreuz in zwei getrennte hyperbolische Büsc (Fig. 4 Pl. VI). Das Ringsystem (Fig. 5 Pl. VI) sieht ma die Krystallplatte rechtwinklig auf die eine der beiden c Axen geschnitten ist.

Wenn man die hyperbolischen Büschel (Fig. 4, Pl. V) Nähe der Axenpuncte ins Auge fasst, so sollte man v aus nach Aussen und nach Innen zunächst den weissgru benten erster Ordnung zu sehen erwarten. Bei den meü stallen indessen bemerkt man mehr oder minder lebhaft Säume, bei dem Salpeter z. B. auf der inneren Seite ein auf der äussern einen rothen Saum. Es beweist diess, Richtungen, nach welchen die vom ersten Turmalin ko Schwingungen durchgehen, ohne zerlegt zu werden, Richtung der optischen Axen, für die verschieden bi Strahlen nicht die nämliche ist. Der Winkel der optisch nimmt bei dem Salpeter ven den violetten nach den roth len hin ab, bei dem weinsauren Kali findet das umgekel Indessen liegen die Axen der verschiedenen Farbenstr den Krystallen des rhombischen Systems sämmtlich in lichen Ebene und haben einerlei Mittellinie. Bei den b dor schiefaxigen Systeme weichen auch die Mittellinie und die Ebenen der Axen (Borax, Weinsäure) für die donen Farben von einander ab *).

*) Wenn man an einem rechtwinklig zur Mittellinie geschnitt axigen Krystalle den Winkel $2\alpha'$ der Richtungen gemessen hat, man die Axenpuncte erblickt, so hat man, um zum Winkel der A halb des Krystalls überzugehen, noch die Brechung zu berücks welche die längs der optischen Axen fortgegangenen Strahlen

Austritt aus dem Krystall erleiden. Man findet aus der Gleich $= \sin. \alpha$ den halben Winkel α der optischen Axen im Krystall, für n' den mittleren der drei charakteristischen Brechungsst S. 643, annimmt, da wie Fig. 315 zeigt, in der Richtung MP c Fortpflanzungsgeschwindigkeit stattfindet.

Ueber die Aenderung der Farbenercheinungen, wenn anstatt polarisirtem, kreisförmig polarisirtes Licht angewandt wird, Dov Ann. XI, 457, 482.

Ueber den Einfluss der Temperaturveränderung auf die Lag schen Axen siehe Brewster in Pogg. Anu. XXVII, 480.

587. Natürliche Farben der Krystalle. — Mit der ungleichen Brechung des ordentlichen und ausserordentlichen Strahls in den doppelbrechenden Ionen ist auch eine ungleiche Absorption derselben verbunden. Babinet will entdeckt haben, dass der stärker gebrochene Strahl immer auch der vorwiegend absorbierte sei. — In manchen Krystallen trifft die Absorption, je nach der Schwingungsrichtung des Lichtes die verschiedenen Farbenstrahlen auffallend ungleichem Verhältniss, so dass ein solcher Krystall, je nach Richtung, in welcher man hindurch sieht, ungleich gefärbt erscheint. Dichroit hat von dieser Eigenschaft seinen Namen. — Haldinger hat darauf aufmerksam gemacht, dass, wenn man die Farben derjenigen Krystalle, welche den Aether in Richtung der Elastizitätsaxen in Bewegung setzen, bestimmt habe, man aus der Mischung dieser drei Axenfarben alle Töne, welche der Krystall in beliebigen Richtungen zeigt, erklären könne.

Auch im reflectirten Lichte zeigen manche doppelbrechende Krystalle verschiedene Farben, je nach der Lage der reflectirenden Fläche und der Ebene gegen die Krystallaxen. So das Kalium- und Magnesiumcyanür, das Murexid etc. Haldinger hat diese Erscheinung mit dem Namen des orientirten Flächenschillers belegt.

Nichts beweist deutlicher, dass die Doppelbrechung sowie die Farbenänderungen im polarisirten Lichte durch eine ungleichmässige, je nach Richtung verschiedene Lagerung der Moleküle bedingt ist, als der Umstand, dass man die nämlichen Erscheinungen auch in homogenen (isophanen) Mitteln, wie z. B. in Glas und in regulären Krystallen, durch künstliche Aufheben des gleichmässigen Molekularzustandes hervorrufen kann.

Werden Glasprismen $a, a, a, \dots b, b, b, \dots$, so wie sie in Fig. 318 im Querschnitt gezeichnet sind, zusammengelegt, und sind die Prismen a, a, a

Fig. 318.



is länger, so dass sie beiderseits um Weniges hervorragen, so können in einer Schraubenpresse einem in der Richtung ihrer Kanten wirkenden Druck ausgesetzt werden, ohne dass dieser Druck gleichzeitig auch die Prismen b, b, \dots trifft. Sieht man alsdann in der Richtung nm durch die Glasplatte, so erscheint eine feine Nadel, welche parallel den Kanten der Prismen gehalten wird, doppelt. Die beiden Bilder gehen in eines zusammen, wie der Druck zu wirken aufhört.

Plötzliche Abkühlung stark erhitzter Glasplatten hat ebenfalls ungleichmässige Lagerung der Moleküle zur Folge. Solche Platten zeigen im Nörrenberg'schen Polarisationsapparat lebhaftere Farben unter den nämlichen Umständen und mit den nämlichen Eigenthümlichkeiten, wie dünne Platten doppelbrechender Krystalle. (Siehe Neuman in Pogg. Ann. LIV, 449.)

588. Erscheinungen im Bergkrystall. — Circularpolarisation. — Legt man eine weniger als 1 Centimeter dicke, schrägwinklig zur Axe geschnittene Quarzplatte in den Nörrenberg'schen Apparat, so sieht man dieselbe gefärbt, während man aus andern einaxigen Krystallen unter diesen Umständen keine Farben zeigen. Dreht man den Zerlegungsspiegel, so ändert sich die Farbe der Quarzplatte und erst nach einer Drehung

der Einfallsebene um zwei rechte Winkel beginnt die Reihe von Farben von Neuem. Eine Drehung der Platte bei stehenden Spiegeln hat keinen Einfluss auf die Farben. Bei Untersuchung verschiedener Bergkrystallplatten bemerkt man es zwei verschiedene Arten gibt, solche, welche bei der Drehung der Schwingungsebene des Zerlegers nach Rechts die Farben in der Ordnung: Roth, Orange, Gelb u. s. w. bis Violett folgen (rechtsdrehende Bergkrystalle) und solche, bei welchen dieselben in der nämlichen Folge auftreten, wenn man die Schwingungsebene des Zerlegers nach Links dreht (linksdrehende Bergkrystalle). Außerlich unterscheiden sich diese beiden von Quarz nur durch kleine Plagiederflächen, welche in der Ecke der Seitenflächen der sechsseitigen Säule entweder rechten oder der linken Seite vorkommen, je nach Quarz ein rechts- oder ein linksdrehender ist.

Lässt man homogenes Licht in den Nörrenberg'schen Apparat einfallen und sind die Spiegel gekreuzt, das Feld also so erscheint dasselbe als bald hell, wenn man eine Quarzplatte den Apparat bringt. Durch Drehung des Zerlegers um einen gewissen Winkel α kann man ihm jedoch eine Stellung geben, bei welcher wieder alles Licht ausgelöscht wird. Man sagt die Polarisationssebene (oder die Schwingungsebene) des unpolarisirten Lichtes sei um den Winkel α gedreht. Wiederholung dieser Beobachtungen mit verschiedenen dicken Platten und mit Strahlen verschiedener Brechbarkeit, Biot zu den beiden folgenden Sätzen:

1) Die Drehung der Schwingungsebene ist der Dichtigkeit der Quarzplatte proportional. 2) Die Drehungswinkel für verschiedene Farbenstrahlen verhalten sich umgekehrt, wie die Quadrate der Wellenlängen. Neuere Versuche*) haben indessen gezeigt, dass der zweite Satz nur annähernd richtig ist. Im folgenden sind die Drehungswinkel gegeben, für die durch die Fraunhofer'schen Linien entsprechenden Strahlen durch eine Quarzplatte von einer bestimmten Dicke:

B	15 ^o ,3	E	27 ^o ,5
C	17 ^o ,2	F	32 ^o ,5
D	21 ^o ,7	G	42 ^o ,2

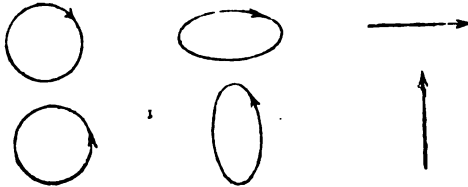
Da die Schwingungsebene verschiedener Lichtsorten, wenn das Licht den Quarz durchdrungen hat, verschiedene Azimute angenommen haben, so sieht man ein, warum bei der Drehung des Zerlegers immer andere Farben ins Maximum der Reflexion kommen. Da aber nur derjenige Strahl völlig unterdrückt wird, dessen Schwingungsrichtung mit der Einfallsebene des Zerlegers

*) Broch im Repertorium der Physik, Band VII, p. 113.

Alle, alle übrigen Strahlen aber, wiewohl mit ungleicher Intensität reflectirt werden, so wird man nie reine prismatische Farben, sondern immer nur Mischtöne erhalten. — Zwischen parallelen Spiegeln gibt eine Quarzplatte von 3,75mm Dicke, einen schönen Blau und Roth liegenden Ton, welcher vorzugsweise schön, bei geringer Drehung des Zerlegers nach der einen oder der andern Seite sein Ansehen ändert, indem er in Blau oder Roth übergeht. Er hat darum von Biot den Namen des empfindlichen Tones (couleur sensible) erhalten. Zwischen gekreuzten Spiegeln gibt denselben Ton eine Quarzplatte von 1/2 Dicke.

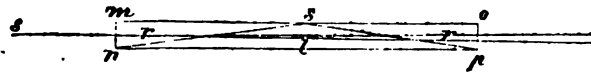
Die eben beschriebenen Farbenercheinungen erweckten in Fresnel den Gedanken, dass auch längs der optischen Axe des Bergkrystalls sich zwei Strahlen mit ungleicher Geschwindigkeit fortpflanzen möchten. Geradlinige Polarisation konnte man jedoch denselben nicht zuschreiben, weil bei der Durchdringung der Quarzplatte im Polarisationsapparat weder die Intensität noch die Farbe des Feldes sich ändert. Rechtwinklig gegen die optische Axe durchdringen den Quarz zwar auch zwei geradlinig und senkrecht aufeinander polarisirte Strahlen, wie jeden andern optisch-einaxigen Krystall. Wenn die Richtung der Strahlen sich der optischen Axe nähert, geht die geradlinige Polarisation, wie diess Fig. 319 andeuten soll, immer mehr in elliptische und zwar mit entgegengesetzter Drehung über. Mit einem

Fig. 319.



Strahl betrachtet verschwinden die beiden Bilder in keinem Azimut desselben. Es liegt nahe, anzunehmen, dass die elliptische Polarisation in die geradlinige übergeht, wenn die Richtung des Strahls der optischen Axe parallel wird. Fresnel hat das Vorhandensein zweier solcher circular polarisirten Strahlen von ungleicher Fortpflanzungsgeschwindigkeit direct nachgewiesen. Er wandte zu diesem Zwecke zwei Prismen r, r , Fig. 320, eines rechtsdrehendem Bergkrystall in Verbindung mit einem Prisma t , von

Fig. 320.



einem rechtsdrehendem Bergkrystall an, so geschnitten, dass die Flächen mn und rs rechtwinklig gegen die optische Axe stand und ein Strahl sa in Richtung der optischen Axe fortging. Da nun in einem rechtsdrehenden Krystall der rechtsdrehende Strahl, in einem linksdrehenden der linksgewandene die grössere

Rohrzucker in 1000 gr. Wasser, in einer Säule von einer Länge angewendet, gibt ganz die nämlichen Farbinungen im polarisirten Lichte, wie eine rechtsdrehende Platte von 1 mm Dicke. Biot, welcher den Gesetzen der Circularpolarisation durch Flüssigkeiten seit mehreren Jahrzehntausgesetzte Aufmerksamkeit gewidmet hat, führte den Namen das Vermögen die Schwingungsebene des Lichtes durch eine den Molekülen innewohnende Eigenschaft ist, unabhängig von einer bestimmten Lagerung derselben. Zuckerlösungen von Terpentinöl durch ein Uhrwerk in rasche Bewegung versetzt verloren nichts von ihrer circularpolarisirenden (drehenden auch schlechtweg optischen) Kraft. Das Terpentinöl verflüchtigt sich in Dampfform noch merklich auf die Schwingungsebene des Lichtes, wenn man es in einer genügend langen Platte bis 2 Meter) anwendet. Auch im starren, amorphen Zustand sind Rohrzucker und Weinsäure noch optisch wirksam. Die Circularpolarisation der Zucker- und Weinsäurekrystallen, welche zu den zweiaxigen Körpern gehören, ist die Circularpolarisation beobachtet worden. Sie könnte sich ohnehin nur in Lösungen beobachten, welche rechtwinklig zu einer optischen Axe wären.

Im Folgenden ist hier das Verzeichniss einiger Substanzen, deren Einfluß auf das polarisirte Licht beobachtet worden ist:

Rechtsdrehend:

Zucker.
 Fruchtzucker.
 Traubenzucker.
 Rohrzucker.
 Weinsäure.
 Weinsäure in Lösung.
 Weinsäure.
 Terpentinöl.
 Terpentinöl.
 Chinin.
 Strychnin.
 Brucin.
 Morphin.
 Chinin.
 Santonin.
 Phloridzin.
 Codëin.
 Jalappin.

Links drehend:

Fruchtzucker.
 Reines Terpentinöl.
 Käufliches Terpentinöl.
 Traubensäure.
 Amorphe Weinsäure (unter 22°C).
 Copaivabalsam.
 Amygdalin.
 Strychnin.
 Brucin.
 Morphin.
 Chinin.
 Santonin.
 Phloridzin.
 Codëin.
 Jalappin.

Wenn man von der nämlichen Zuckerlösung Schichten von verschiedener Dichte nacheinander anwendet, findet man die Drehung der Schwingungsebene der Länge der Säule proportional. Wenn dagegen bei unveränderter Länge der Säule die doppelte Menge Zucker in die Lösung, so wächst die Drehung der Schwingungsebene in gleichem Verhältniss. Offenbar

ist dieselbe also proportional der Menge optisch wirksamer Moleküle, welche das Licht auf seinem Wege durch die flüssige Säule antrifft. Die Dispersion der Schwingungsebenen der verschiedenen Farbenstrahlen durch eine Zuckerlösung sowie durch alle Substanzen, welche in dieser Beziehung untersucht sind, folgt dem nämlichen Gesetze, wie im Quarze, nur die Weinsäure und gewisse Mischungen derselben mit Wasser und Borsäure, die Traubensäure und die optisch wirksamen Salze dieser Säure zeigten ein abweichendes Verhalten.

Biot hat auf die eben angeführten Erfahrungen den abstracten Begriff der specifischen Rotationskraft gegründet. Ist α die Ablenkung der Schwingungsebene des Strahls B durch eine Säule von Zuckerlösung von l Decimeter Länge, wenn in der Gewichtseinheit dieser Lösung von specifischem Gewicht ϵ Gewichtstheile Zucker enthalten sind, so ist die specifische Rotationskraft (α) des Zuckers nach Biot:

$$(\alpha) = \frac{\alpha}{l \cdot \epsilon \cdot d}.$$

Diese gilt natürlich nur für den betreffenden Farbenstrahl B . — Neuerdings hat man es, in Anbetracht der molekularen Natur des optischen Drehungsvermögens für angemessener gehalten, das specifische Drehungsvermögen anstatt auf die Einheit der Gewichtsmenge und eine hypothetische Dichte 1, auf Aequivalentgewichte der verschiedenen wirksamen Substanzen zu beziehen*).

Da das Wasser, welches dem Zucker zugemischt wird, keine Aenderung des specifischen Drehungsvermögens bewirkt, so darf man dies als einen Beweis ansehen, dass die Zuckermoleküle in den Lösungen in keiner andern Weise beschaffen sind, als im ungelösten Zustande. Anders verhält sich die Weinsäure; ihr Drehungsvermögen wird durch Zusatz von Wasser dem Sinne nach umgekehrt und bedeutend verstärkt. Biot fand, dass die Gleichung $(\alpha) = -1,555 + 15,671 e$, die Zunahme ihres specifischen Drehungsvermögens ausdrückt, wenn e den in der Gewichtseinheit der Lösung enthaltenen Antheil Wasser bedeutet. Noch auffallender ist die Verstärkung des Drehungsvermögens der Weinsäure durch einen geringen Zusatz der an sich optisch unwirksamen Borsäure**). In diesen Fällen kann also eine Aenderung im Bestand der Moleküle angenommen werden. Das Drehungsvermögen des Amygdalins überträgt sich in die Mandelsäure, das des Kamphers in die Kamphersäure, und in deren Salze. Auch das Drehungsvermögen der Weinsäure und Traubensäure ist in vielen Salzen dieser Säuren beobachtet worden. In allen diesen Fällen kann daher eine vollständige Auflösung des optisch wirksamen Moleküls nicht stattgefunden haben, allein die Aenderung des specifischen Rotationsvermögens in diesen Fällen ist Zeuge für eine stattgefundene chemische Einwirkung. Ähnliches gilt für die Asparaginsäure und Aepfelsäure, jedoch nur, wenn diese Körper angewendet werden, wie sie natürlich vorkommen. Asparaginsäure, welche aus optisch unwirksamem fumarsaurem Ammoniak dargestellt wurde, und Aepfelsäure, in welche die so gewonnene Asparaginsäure übergeführt wurde, zeigten nach Pasteurs Angaben nicht die geringste Einwirkung auf das polarisirte Licht.

*) Wilhelmy in Pogg. Ann. LXXXI, 527.

**) Biot, Ann. chim. phys. 3tes X, 5, 175, 307, 385. XI, 81. XIV, 215, 351. XXIX, 35, 341, 430.

Eine andere Entdeckung desselben Physikern hat einen höchst interessanten Zusammenhang zwischen der Krystallform gewisser Körper und dem Grad der Drehung, welche sie dem polarisirten Licht ertheilen, nachgewiesen. Aus dem traubensauren Natron-Ammoniak und dem traubensauren Kalium setzen sich entgegengesetzt hemiedrische Krystalle in gleicher Anzahl, deren Formen sich zu einander verhalten, wie ein Gegenstand zu seinem Spiegelbild (symmetrische Hemiedrien). Sondern man diese Krystalle und löst die gleichgebildeten für sich auf, so drehen die beiden Lösungen die Schwingungsebene des Lichtes mit gleicher Stärke, aber in entgegengesetztem Sinne. Mischt man gleiche Gewichtsmengen beider Krystalle, erhält sich die Lösung optisch neutral, wie vor der Krystallisation. Auch aus beiden hemiedrischen Bildungen abgeschiedenen Säuren verhalten sich optisch entgegengesetzt. Die rechtsdrehende Säure ist in Nichts von der linksdrehenden verschieden, die linksdrehende verhält sich ihr vollkommen gleich, nur das circularpolarisirende und krystallographische Verhalten beider ist entgegengesetzt.

590. Saccharimeter. Es bleibt uns noch übrig, eine praktische Methode zu beschreiben, welche auf die optische Wirksamkeit des Zuckers gegründet und mit einem zweckmässigen Messapparat ausgestattet worden ist, um damit den Gehalt an krystallisirbarem Zucker in irgend einer Lösung z. B. im Saft der Zuckerröhre oder der Runkelrübe, im Syrup, oder im diabetischen Urin und der Milch zu bestimmen.

Wir nehmen zunächst an, dass man in einer an ihren beiden Enden mit parallelen Spiegelplatten geschlossenen Röhre von 250 Millimeter Länge eine klare Lösung, welche ausser krystallisirbarem Zucker keine andere optisch wirksame Substanz enthalte, zwischen die gekreuzten Nikels p und a des Apparates (Fig. 6, Pl. 11.) bringe und dass man nur homogenes Licht von der Brechlinse des Strahles B anwende. Man wird den analysirenden Strahl um einen Winkel α zur Rechten drehen müssen, um das Licht wieder vollkommen dunkel zu erhalten. Die Grösse dieses Winkels findet man mittelst der in Grade getheilten kreisförmigen Skala ss , auf welcher ein Zeiger az durch die Drehung des Apparates fortgeschoben wird. Da nun, wie oben angeführt wurde, eine Röhre von gleicher Länge 11,64 Gewichtsprocente Zucker die Schwingungsebene des Strahls B um $15^{\circ},3$ drehen, so wird der Gehalt an Zucker in der untersuchten Lösung, ausgedrückt in Gewichtsprocenten aus der Gleichung:

$$s = \frac{\alpha}{15^{\circ},3} \cdot 11,64$$

Die Stellung des Nikels a indessen, bei welcher das Feld ganz verdunkelt ist, lässt sich aus begrifflichen Gründen nur mit grosser Schärfe bestimmen. Soleil hat daher dem Apparate, welcher den Namen Saccharimeter führt, einige Theile zugefügt, welche die Genauigkeit der Messungen in bedeutendem Grade erhöhen.

Zunächst ist hinter dem polarisirenden Nicol eine senkrecht zur Axe geschnittene Bergkrystallplatte q (Fig. 326) eingefügt, welche, durch die Mitte des Gesichtsfeldes getheilt, zur Hälfte an rechtsdrehendem, zur andern Hälfte aus linksdrehendem Quarz besteht. Ihre Dicke ist 3,75 Millimeter, so dass sie zwischen parallelen Nikols den empfindlichen Farbenton zeigt. Senkt man unter diesen Umständen die Zuckerlösung ein, indem man die Röhre auf die Lager oo bringt, so wird die Wirkung der rechtsdrehenden Quarzplatte durch den Zucker verstärkt, die der linksdrehenden vermindert, beide Platten nehmen ungleiche Färbung an. Waren die Aenderungen nur gering, so kann man allein durch Drehung des Nikols a nach rechts die Gleichheit der Färbung beider Hälften der Doppelplatte wieder herstellen. Dies gelingt jedoch, wegen der ungleich starken Drehung der verschiedenen Schwingungsebenen nicht mehr, wenn die Zuckerlösung einigermaßen concentrirt war. Soleil hat daher zwischen der flüssigen Säule und dem analysirenden Nicol noch den Compensator C angebracht. Derselbe (in Fig. 7. Pl. VI. besonders abgebildet) besteht aus zwei ganz gleichen rechtwinkligen Prismen von linksdrehendem Quarz, deren Kathetenflächen c und c' senkrecht zur optischen Axe stehen. Diese Prismen können mittelst der Schraube v durch ein Triebwerk sammt ihren Fassungen gegeneinander verschoben werden, so dass sie eine Platte von veränderlicher Dicke repräsentiren. Die eine Fassung trägt eine Theilung l , die andere einen Nonius n und wenn dieser auf Null der Theilung steht, ist die optische Wirkung beider Prismen durch eine rechtsdrehende Platte p gerade compensirt, das ganze System also bezüglich der circularpolarisirenden Wirkung so gut wie nicht vorhanden. Sobald man aber durch die Schraube r das Triebwerk in Bewegung setzt, so dass die Dicke der Platte, welche die beiden Prismen bilden, wächst, beginnt eine linksdrehende Wirkung aufzutreten und es leuchtet ein, dass man diese leicht abmessen kann, dass die rechtsdrehende Wirkung einer Säule mit Zuckerlösung hierdurch gerade compensirt wird. Man hat somit ein bequemes Mittel der Doppelplatte q die gleiche Färbung wiederzugeben, welche durch die Zuckerlösung aufgehoben worden war.

Die mit dem Prisma des Compensators verbundene Theilung ist so beschaffen, dass 100 Theile einer Vermehrung der Plattendicke um 1 Millimeter entsprechen. Hat man den Index z. B. um 50 Theile verschieben müssen, um die Gleichheit der Färbung in der Doppelplatte wieder herzustellen, so ist die drehende Wirkung der Zuckerlösung gleich der von 0,5mm Quarz. Die Lösung hält daher den obigen Daten zu Folge 5,82 Procent Zucker.

Die angegebene Methode reicht nicht aus, wenn die Lösung ausser krystallisirbarem Zucker, noch andere Substanzen enthält.

if die Polarisationsebene des Lichtes einwirken. Es essen hier die Erfahrung zu statten, dass der krystallinere durch Erhitzen mit reiner Salzsäure bis zu 68° in sirbaren Fruchtzucker umgewandelt wird, welcher das Licht in entgegengesetztem Sinne dreht. Da bei dieser alle andern optisch wirksamen Substanzen unverändert kann man mit Hülfe zweier Bestimmungen, einer vor nach der Behandlung mit Salzsäure, den Gehalt an kryem Zucker finden.

1 Procent Rohrzucker in Lösung in einer Röhre von 250^{mm} die Drehung a hervor, die Lösung enthalte aber A Procent andern optisch wirksamen Substanzen gebe 1 Procent die Drehung a' und die Lösung enthalte B, C, \dots Procent derselben, so beobachtet im Ganzen die Drehung:

$$D = Aa + Bb + Cc + \dots$$

Wenn a, b, c mit den positiven oder negativen Zeichen zu nehmen dem die Drehung zur Rechten oder zur Linken erfolgt. a' be- Drehung durch 1 Procent Fruchtzucker, so wird man nach der mit Salzsäure eine Drehung

$$D' = -Aa' + Bb + Cc + \dots$$

und es ist $D - D' = A(a + a')$, also die zu bestimmende

$$A = \frac{D - D'}{a + a'}$$

Wirkungsvermögen des Rohrzuckers, also auch die Grösse a , ist Temperatur so gut wie unabhängig, das Drehungsvermögen des Rohrzuckers dagegen vermindert sich bei steigender Temperatur. Nimmt die Drehung des Rohrzuckers zu 100 an, so ist das Drehungsvermögen des Rohrzuckers:

•	bei 15°	bei 20°	bei 25°	bei 30°	bei 35°
	36,5	34	31,5	29	26,5

man in obiger Formel für D und D' die Ablesungen des Compensations-Hundertsteins des Millimeters Quarz, so hat man $a = 8,62$ zu

	bei 10°	bei 20°	bei 30°
	3,36	2,93	2,5

z. B. bei 20° Temperatur vor der Behandlung mit Säure 80, 40,6 abgelesen, so entspricht diess einer Zuckerlösung von

$$\frac{120,6}{8,62 + 2,93} = 10,4$$

ist.

Es ist immer vorausgesetzt, dass die Ablenkungen durch eine Säule von 100 Millimeter Länge hervorgebracht wurden. Wäre nur Rohrzucker abgelesen gewesen, so würde die erste Ablösung = 90 Theile, die zweite = 86 Theile ergeben haben.

Faraday hat die Entdeckung gemacht, dass Substanzen an und für sich die Schwingungsebene des Lichtes drehen, wie z. B. Flintglas, diese Fähigkeit unter Einwirkung

benachbarter Magnetpole oder des electrischen Stromes an Man bringt die Substanz zwischen zwei Magnetpole, oder sie mit einer Kupferspirale und lässt den polarisirten Licht parallel der Axe des Magneten oder der Spirale durchgehen. Die Richtung des Stromes ändert sich auch die Richtung der Drehung. Ihre Stärke ist gering gegen die Drehung solcher Substanzen, welche an sich optisch wirksam sind; sie verhält sich übrigens der Stromstärke proportional.

Die Drehungen an sich optisch wirksamer Substanzen z. B. von Terpentinöl, können durch den elektrischen Strom nach der Richtung desselben, verstärkt oder geschwächt werden. Die Zu- oder Abnahme der Drehungswinkel für die einzelnen Substanzen bleibt hierbei der anfänglichen Grösse derselben proportional.

592. Chemische Wirkungen des Lichtes. - Man kann das Licht als einen Bewegungszustand des Aethers eingeleitet durch die Schwingungen, in welche die Materie übergeht, betrachten. Die Moleküle bei dem Glühen und dem Verbrennungsprocess, so kann es nicht überraschen, wenn man wahrnimmt, dass chemische Verbindungen durch Bestrahlung in ihrem Zustand geändert, oder aufgelöst werden können. Der Einfluss des Lichtes auf die Vegetation, das Bleichen vieler Farben im Sommer sind Thatsachen, deren Beobachtung einem Jeden leicht zu machen sind. Gegen Ende des 18ten Jahrhunderts bewies Seneca die Zersetzung bestimmter chemischer Verbindungen durch das Licht. Man weiss jetzt, dass Chlor sich mit Wasserstoff, ölbildendem Gase nur unter dem Einfluss des Lichtes verbindet, dass unter demselben Einfluss Chlor das Wasser bei gewöhnlicher Temperatur zersetzt und Salpetersäure in Sauerstoff und salpetersäure zerfällt, dass Metalloxyde reducirt werden, Metall und Hyperoxyde zerfallen.

Die meisten Silbersalze werden vom Lichte geschwächt. Die grösste Empfindlichkeit beweisen die Chlor-, Jod- und Bromverbindungen des Silbers gegen das Licht. Auch die Schwärzung ohne dass jedoch bis jetzt mit Bestimmtheit nachgewiesen worin die Umänderung besteht, welche jene Salze hierdurch erleiden. Gewiss ist nur, dass sie nach stattgefundener Einwirkung des Lichtes in hohem Grade die Fähigkeit erlangen, Quecksilberdämpfe an ihrer Oberfläche zu verdichten; und gerade auf dieser gründet sich die schöne Methode Daguerre's, die Abbildungen von beleuchteten Gegenständen allein durch die Wirkung des in der camera obscura entworfenen Lichtbildes auf Silberplatten darzustellen. Nachdem die Einwirkung des Lichtes die gehörige Zeit gedauert hat, wird die jodirte Silberplatte in eine Atmosphäre langsam sich entwickelnder Quecksilberdämpfe gebracht. Die durch das Licht veränderten Stellen werden

orzugsweise und das an den feinen Quecksilberthöhlchen Licht, giebt diesen Stellen ein weisses Ansehen, während Schattenparthieen, nachdem man das unveränderte Jodsilberschwefligsaurem Natron weggenommen hat, durch die tallfläche dargestellt werden. Ein dünner Ueberzug von itzt das Bild vor der Zerstörung, welche ausserdem leiseste Berührung herbeigeführt wird.

Imselben Jahre (1839), in welchem Daguerre seine findung bekannt machte, veröffentlichte Talbot ein Lichtbilder auf Papier darzustellen. Ein feines Papier, mit einem Ueberzug von Jodsilber vermischt mit Lösung tersaurem Silberoxyd versehen ist, wird der Bestrahlung dunkeln Kammer ausgesetzt und dann in einem dunkele in eine Lösung von Gallussäure gebracht. Es entsteht eine action des Silbers an den durch das Licht veränderten theilen ein negatives Bild, in welchem die Lichter schwarz, die arthieen des Gegenstandes hell erscheinen. Dasselbe wird durch erschweffligsaures Natron von allem lichtempfindlichen theile befreit, in reinem Wasser gewaschen und getrocknet. Die herstellung positiver Bilder wird das negative auf eine mit Collodion überzogene Papierfläche zwischen Glasplatten aufgestellt. Unter der Wirkung der Sonnenstrahlen so ausgesetzt, dass durch das negative Bild zum Chlorsilber gelangen können. Die Schwärzung tritt nur unter den hellen Stellen des negativen Bildes ein, das Bild kehrt sich um und wird somit den Gegenständen entsprechend. Das positive Bild wird durch mit unterschweffligsaurem Natron fixirt.

Man braucht ein Papier von so gleichmässiger und hinreichend dicker inender Masse, wie es zu den negativen Bildern erforderlich nur schwer findet, so hat man es durch Anwendung von weiss-schichten und neuerdings durch einen dünnen Ueberzug von Collodion auf Spiegelglas zu ersetzen gewusst. Unter allen Farbenstrahlen äussern einen gleichen chemischen Wirkung. Die blauen und violetten Strahlen sind ungleich wirksamer als die rothen und brechbaren, und ausserhalb des violetten Endes des Spectrums gibt es noch, wie zuerst Ritter und Wollaston entdeckten, sichtbare Strahlen, welche sehr kräftig auf chemische Wirkung einwirken. Unter einem blauen Glase dem Sonnenlicht ausgesetzt, schwärzt sich Chlorsilber in wenigen Minuten, unter einem rothen oder gelben Glase ist es nach tagelanger Bestrahlung nicht merklich verändert.

Man glaubt sich überzeugt zu haben, dass die chemische Wirkung des Lichtes von einer Absorption unzertrennlich und proportional sei. Bei prismatischer Zerlegung des Lichtes durch eine Lösung gegangen war, auf welche es einwirkte, fand Draper immer den Strahl am stärksten

absorbirt, welcher die kräftigste chemische Wirkung ausser
Ein Strahl, welcher durch Chlorwasser ging, bringt in einer zweiten
ten Schichte der nämlichen Substanz keine Zersetzung mehr
hervor.

Während bei Einwirkung der Wärmestrahlen sich die molekularen
Schwingungen nach allen Seiten hin auf die benachbarten Moleküle
übertragen, findet eine solche Uebertragung der chemischen Wirkung
nicht statt und gerade hierdurch ist die zunehmende Schärfe der
photographischen Bilder bedingt.

XIII. Von der strahlenden Wärme.

593. Die Fortpflanzung der Wärme durch Strahlung beruht auf
Gesetzen, die mit denen der Fortpflanzung des Lichtes die allergrösste
Aehnlichkeit haben. Da aber die ersteren viel weniger in die Sinne
fallen als die letzteren, so war eine genaue Beobachtung und Darlegung
derselben mit ungleich grösseren Schwierigkeiten verknüpft. Auch
würden die Eigenschaften der Wärmestrahlen ohne die vorausgegangene
Kenntniss entsprechender Eigenschaften der Lichtstrahlen, sich zum
Theile wohl immer der Beobachtung entzogen haben.

Jedermann weiss, dass glühende Körper aus der Entfernung
auch durch Strahlung (No. 47), Wärmeeindrücke hervorbringen können.
Weniger leicht fällt es auf, dass die Körper auch bei Hitzegraden,
wobei sie nicht leuchten, ja dass sie bei jeder Temperatur das
Vermögen besitzen, Wärme durch Strahlung auszusenden. Mit Hilfe
empfindlicher Thermoskope gelingt es jedoch, diese bemerkenswerthe
Eigenschaft der Körper auf's überzeugendste darzuthun.

Wir besitzen in dem Thermomultiplikator (No. 427) ein Differenzialthermometer
von äusserster Empfindlichkeit, welches in hohem Grade geeignet ist,
das Wärmestrahlungsvermögen (Emissions - Vermögen) auf die Probe zu
stellen. Gesetzt die beiden Flächen der Thermosäule seien von ganz gleicher
Oberflächenbeschaffenheit, am besten, mit einer dünnen Lage Lampenschwarz
überkleidet; man richte die eine Fläche, z. B. die linke, gegen eine
Wand von beständiger Temperatur und stelle sie in einiger Entfernung
von der andern, also der rechten, die um eine höhere Empfindlichkeit zu
erzielen, mit ihrem conischen Reflector versehen sein kann, irgend einen
erwärmten Körper auf: sei es eine Kerzenflamme, eine heisse Metallplatte,
ein Glas- oder Porzellengefäss mit heissem Wasser gefüllt, die flache Hand oder

mer sonst für ein Körper, dessen Temperatur diejenige der überstehenden Wand übertrifft. Die Nadel des Galvanometers in allen Fällen einen Ausschlag zeigen und zwar stets eine Temperaturerhöhung der dem wärmeren Körper zugekehrten Fläche der Thermosäule. Richtet man dagegen die Säule gegen einen kälteren Körper, z. B. gegen eine Eiswand gegen den klaren nördlichen Himmel, so wird die Nadel nach der andern Seite ausweichen, eine Abkühlung anzeigend.

In der ersten Versuchsreihe hatte die rechte Fläche der Thermosäule Wärme durch Strahlung von Aussen empfangen; bei der zweiten Reihe musste sie nach Aussen abgegeben haben.

Diese Versuche belehren uns, dass, so oft zwei Körper einer ungleichen Temperatur einander gegenüber stehen, der kühlere von dem wärmeren, Wärme durch Strahlung empfängt.

Man könnte nicht die Luft diesen Uebergang durch Leitung vermitteln. Dem widerspricht, dass die Luft zu den schlechtesten Leitern gerechnet wird, gleichwohl die Wirkung auf die Thermosäule eine augenblicklich eintretende ist und dass sie in der Hauptsache dieselbe bleibt, ob nun die Wirkung von unten, von oben oder von der Seite stattgefunden hatte. Man findet man, dass die Körper selbst im Vacuum der Luftpumpe, ohne jede andern Wärmeinflüsse ausser dem der Strahlung fast vollentzogen sind, mit Schnelligkeit jedem äusseren Temperaturwechsel sich erwärmen, wenn sie von höherer Temperatur umgeben sind, umgekehrten Falle sich abkühlen.

4. Zwei Kerzenflammen einander gegenüber gestellt, senden ein gleiches Licht zu, auch wenn sie ganz gleichen Glanz besitzen.

Die Kerzenflamme, obschon im Sonnenschein nur wenig sichtbar, strahlt selbst dann nicht auf nach allen Richtungen und sogar die Sonne hin Licht auszustrahlen. Die Analogie leitete zu der Vermutung, dass das Vermögen der Körper Wärme auszusenden, in gleicher Weise von der Wärmebeschaffenheit der Umgebung ganz unabhängig ist; oder mit andern Worten ausgedrückt: Jeder Körper strahlt Wärme zu jeder Zeit und bei allen verschiedensten Temperaturgraden, welche sie und ihre Umgebung besitzen. Diese Wärmemittheilung nimmt zu mit der steigenden Temperatur, und so kommt es, dass ein Körper in kühlerer Umgebung weniger zurückhält, sondern abgibt, folglich sich selbst abkühlen muss, während er in wärmerer Umgebung weniger gibt als ihm zufliesst. Sind zwei Körper gleiche Temperatur, so bleibt Gewinn und Verlust auf beiden Seiten gleich.

Diese Theorie eines ununterbrochen fortdauernden Austausch der Wärme durch Strahlung nennt man das Prinzip des dynamischen Gleichgewichtes der Wärme. Dasselbe wurde von Prevost, einem Genfer Naturforscher aufgestellt.

1.

Die feste und flüssige Erdoberfläche strahlt ununterbrochen gegen den Himmelsraum. Zur Tageszeit findet aber in Folge der Wirkung der Sonne ein grösserer Zufluss statt. Dadurch steigt die Temperatur am Abend und zur Nachtzeit überwiegt der Verlust des Tages. Die Folge ist eine allmählig fortschreitende Abkühlung. Die Wolkendecke wie jeder andere Körper. Bei bewölktem Himmel empfängt die Erdoberfläche einen grossen Theil der Wärmeabgabe wieder zurück und kühlt dann weit langsamer ab als bei klarer Luft. So erklärt es sich die stärksten Nachfröste bei Mondschein oder sternhellem Himmel.

595. Die Körper können bei ganz gleicher Temperatur sehr ungleiches Ausstrahlungs - Vermögen besitzen. Die z. B. der folgende von Leslie angegebene Versuch. In einer Thermosäule und in einer für die Empfindlichkeit der Nadeln bestimmten Entfernung werde ein kubisches Gefäss mit Blechwänden aufgestellt, worin man Wasser mittelst der Lampe auf einer gewissen Temperatur z. B. der Siedhitze. Die vier Seitenwände des Gefässes sind mit den Substanzen bezogen deren Ausstrahlungsvermögen verglichen werden soll. Die Säule ist vor der direkten Einwirkung der Spirituslampe wie überhaupt jeder andern Wärmequelle durch Schirm geschützt. Indem man nun nach einander die verschiedenen Seiten des Gefässes, unter gleichem Abstände, der geschwärzten Säule zugekehrt, werden verschiedene Ablenkungen beobachtet, deren ablenkende Kräfte das Verhältnis

gleichen Wärmestrahlung bezeichnen. Auf diese Weise folgenden Zahlen gefunden worden.

Kienruss	100	Eisniss
Bleiweiss	100	Eisen, polirt
Hausenblase	91	Gold, Kupfer
Glas	90	Silber, polirt
Graphit	86	

Dieses Zahlenverhältnis scheint sich bei niedriger Temperatur Wärmequelle nicht merklich zu ändern; d. h. wenn man die Temperatur im Allgemeinen abnehmende Ausstrahlung des Kienrusses mit 100 bezeichnet, so wird sich für Bleiweissanstrich ebenfalls 91 u. s. w. Bei stärkerer Erhitzung zeigen sich aber mehr und mehr verschiedene Verhältnisse. Z. B. die Ausstrahlung der Bleiweissfläche mit der Temperaturerhöhung viel langsamer zu, als die Ausstrahlung der Kienrussfläche. Selbst beim Kienruss und bei polirten Metallflächen die grösste Regelmässigkeiten zeigen, scheint die Ausstrahlung mit der Temperatur fortzuschreiten.

Die Metalle sind unter diesen wieder das Silber das stärkste Ausstrahler. Zu den Körpern, welche eine starke Ausstrahlung besitzen, gehören auch noch: Wasser, Dammere, Holz, Gräser, Blätter, Wolle, Haare und im allgemeinen die organischen Körper. Aus dem beschriebenen Versuchsverfahren geht hervor, dass die Ausstrahlungsvermögen nicht sowohl von der inneren Beschaffenheit als vielmehr von dem Zustande ihrer Oberfläche abhängt. Es ist sehr begreiflich, dass Metalle sogleich mehr Wärme ausstrahlen, wenn sie verunreinigt wird, z. B. durch Firnissen, Färben, oder dergleichen. Der Graphitanstrich, den man unseren eisernen Stab

man sieht, ein notwendiges Erforderniss, um sie ihrem
 höchst viel Wärme auszustrahlen, anzupassen.

Veränderungen in der Dichtigkeit der Oberfläche verändern die
 So strahlt eine gegossene oder durch galvanischen Nietern
 eine Silberplatte besser, als eine gehämmerte oder gewälzte
 in der Oberfläche dichter geworden. Wurde aber die gehäm-
 me mit Smirgelpapier aufgerissen und dadurch die innere weis-
 zung oder doch theilweise blosgelegt, so stieg das Ausstrah-
 fast auf das Doppelte. Das Anritzen einer glatten Ober-
 und für sich keinen Einfluss auf die Quantität der Ausstrahlung
 er auch nicht das Vermögen solcher Körper, deren Oberfläche
 nur keine Verdichtung erfährt, wie Holz, Elfenbein, Marmor.
 der letzteren Art und dahin gehören fast alle nicht metall-
 mag nun seine Oberfläche glatt und glänzend, oder uneben,
 rissen sein, ändert sein Ausstrahlungsvermögen nur mit der

ität der Ausstrahlung für eine gegebene Temperatur beruht
 manchen Körpern nicht ausschliesslich auf der Wirkung der
 rfäche, sondern auch die tieferen Schichten tragen in abneh-
 dazu bei. So findet man, dass die Ausstrahlung einer Metall-
 en dünnsten Firnisstrich zwar sogleich auffallend vermehrt
 nn durch mehrmalige Wiederholung des Anstrichs die Schnell-
 rmeabgabe noch sehr merklich gesteigert werden.

temperatur der kräftigsten Ausstrahler muss begreiflich während
 a Abkühlung am schnellsten und tiefsten sinken, sogar tiefer,
 gebende Luft, weil letztere zu den schlechtesten Strahlern
 us erklärt es sich, warum die frischen Triebe und Blüthen in
 snächten so leicht und selbst in Fällen erfrieren, in welchen
 r der Luft nicht unter 0° gesunken war. Auch wird man jetzt
 rum mässige Luftbewegung, wobei die erkaltende Pflanze
 s Wärmeverlustes durch die vervielfältigte Berührung mit der
 i Luft wieder erhalten, warum ferner eine etwas höhere Lage,
 Himmel und überhaupt jede noch so lockere Bedeckung, z. B.
 ter oder Stroh, den Pflanzen Schutz gegen das Erfrieren ge-

sich klar, dass die Abkühlung der Körper auf die sie un-
 ebende Luftschicht zurückwirken, und diese folglich ihrem
 her bringen, d. h. sie relativ feuchter machen muss. Das Ab-
 gen der Körper für die Luftfeuchtigkeit wächst in dem Grade,
 e Trockenheit der Luft abnimmt.

en werden also schon durch den Process der nächtlichen Ab-
 wenn die Witterung im Allgemeinen trocken ist, befähigt,
 i für ihr Gedeihen erforderlichen Wassers aus der Luft aufzu-

Temperatur eines Körpers, durch Ausstrahlung unter den
 ihn umspielenden Luft (No. 265), so tritt er ganz in das Ver-
 ellebigem andern kalten Körpers, den man in wärmere und
 igt; er beschlägt sich mit Thautropfen, oder wenn seine
 i unter den Gefrierpunct gegangen war, mit Reif. Die Pflanz-
 s starken Ausstrahlungs - Vermögens sind vorzugsweise em-
 mit Thau oder Reif zu beschlagen. Die bekannte Erscheinung,
 in heiteren Nächten am reichlichsten fällt, bei dicht bedeck-
 ber ausbleibt, dass er sich auf den oberen, frei gegen den
 eten Seiten der Blätter, am stärksten absetzt, dass die unter
 i Bäumen wachsenden niederen Pflanzen grösstentheils davor
 , bedarf nach dem Vorausgegangenen keiner nähern Erläu-

Newton hatte den Satz aufgestellt, dass die Schnellig Abkühlung eines erwärmten Körpers, dem Unterschiede eignen Temperatur und derjenigen der Umgebung proportional ist. Dass z. B. bei einer Temperaturabstufung von 40° ein Körper in gleichen Zeittheilen noch einmal so viel verliere, als wenn um 20° wärmer sei, als seine Umgebung.

Diese Regel, für mässige Temperaturunterschiede all richtig, lässt sich jedoch nicht auf die Abkühlungsgeschwindigkeit stark erhitzter Körper anwenden; deren Wärmeverlust in genaueren Beobachtungen von Dulong und Petit (i. phy. VII. 225) selbst im leeren Raume, und frei von jedem Einflusse, ausser dem der Strahlung, in steigender Progression nimmt, je stärker sie vorher erwärmt waren.

596. Die Wirkung der Wärmestrahlen, ihre Wirkung vermindert sich bei zunehmendem Abstände der Quelle in umgekehrten Verhältnisse zum Quadrate dieses Abstandes. Zur Erläuterung des Grundes hat man nur Wort für Wort zu wiederholen, was bezüglich des ganz gleichlautenden Gesetzes der Lichtwirkungen gesagt worden ist.

Einen experimentellen Beweis hat Melloani (la Thermochre durch den folgenden Versuch gegeben. Die eine senkrechte Seite eines grossen Wasserbehälters (von 4—5 Cent. Seite) in welcher Wasser auf einer beständigen Temperatur von etwa 40° erhitzt, und schwarz, und derselben aus mässigem Abstände die eine Fläche einer Thermosäule zugekehrt, deren cylindrischen Ansatz man auf der Innenseite ebenfalls mit Lampenschwarz überzogen, oder auch mit Papier hatte, um die Wirkungen der Reflexion möglichst abzuhalten. Ein Ausschlag der Galvanometernadel, dessen Grösse sich nicht ändert, wenn man die Säule der Wand näherte oder auch sie davon entfernte.

Es sei S (Fig. 322) eine Lötstelle der Thermosäule, m die Entfernung des Cylinders, S' die Entfernung der erwärmenden Wand, so ist

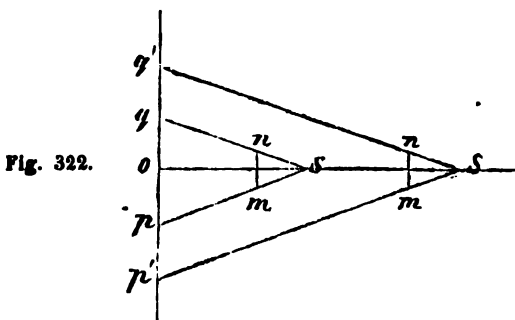


Fig. 322.

Durchmesser des Stückes derselben, dessen Strahlen bis zu d gelangen können. Rückt man diesen Punkt nach S' , z. B. in den gleichen Abstand, so ist mit Beziehung auf das ausgesprochene Gesetz die wärmende Kraft jeder Flächeneinheit der warmen Wand auf $\frac{1}{4}$

der Durchmesser q/p' der wirkenden Fläche ist aber jetzt noch ein-
 gross, also die Fläche selbst 4mal so gross. Die Wirkung musste
 dieselbe sein wie vorher. Was nun für eine Lötstelle richtig ist,
 alle an der vordern Fläche der Thermosäule.

Bei dieser Anordnung des Versuchs blieb sich der Wärmezufuss zu der
 immer gleich. Es lässt sich nun die Frage aufwerfen, ob bei verän-
 derter Wärmezufuss, die die Magnetnadel ablenkenden Kräfte der Kraft
 des Stroms proportional bleiben. Diese Frage hat Melloni auf fol-
 gende Weise beantwortet: Eine in ihren Wirkungen sich sehr gleich blei-
 bende Wärmequelle von geringer Ausdehnung, (z. B. eine durch einen con-
 stanten electrischen Strom im Glühen erhaltene Platinspirale) wurde vor
 dem Thermomultiplicator in verschiedenen genau gemessenen Abständen
 gestellt, und jedesmal die Ablenkung der Nadel bemerkt. Waren nun
 die Aufnahmen der Säule den auffallenden Strahlenmengen proportio-
 nal, mussten die ablenkenden Kräfte sich verhalten, verkehrt wie die
 Quadrate der zugehörigen Abstände der Platinspirale, von der zugewende-
 ten Fläche der Säule. Und so fand es sich in der That.

197. Nicht alle Wärme, welche strahlend die Oberfläche eines
 Körpers trifft, wird verschluckt und in fühlbare (auf das Thermo-
 meter wirkende) Wärme verwandelt. Ein mehr oder weniger
 kleiner Theil wird von jedem Körper, je nach der Natur seiner
 Oberfläche zurückgeworfen. Einem dritten Theile gestatten manche
 Körper den Durchgang. Man nennt solche Körper: diatherman
 (wobei diaphan, durchsichtig, nachgebildet) im Gegensatz
 zu athermanen, welche keine Wärmestrahlen durch-
 lassen.

198. Die Zurückwerfung oder Reflexion der Wärme-
 strahlen richtet sich auf das Genaueste nach den Gesetzen, nach
 denen die Zurückwerfung des Lichtes stattfindet. Die Richtig-
 keit dieses Satzes lässt sich mit Hilfe des Hohlspiegels einer sehr
 feinen Probe unterwerfen. Man richte einen sphärischen Metall-
 spiegel (von Silber, von Spiegelmetall oder auch von Messing)
 gegen die Sonne. Sogleich wird man bemerken, dass an der Stelle
 des Sonnenbildchens entsteht, im Brennpuncte, eine sehr
 hohe Temperatur herrscht. Es ist also gewiss, dass die Wärme-
 strahlen der Sonne nach demselben Gesetze wie die Lichtstrahlen
 reflectirt und in dem Brennpuncte verdichtet worden sind.

Die Hitze, welche bei hohem Stande der Sonne und an sehr hellen Ta-
 gen im Brennpuncte eines guten und grossen Hohlspiegels (Brennspiegels)
 hervorgebracht werden kann, ist die höchste, welche sich überhaupt hervorbringen
 lässt. — Bekanntlich haben die Florentiner Akademiker mit Hilfe eines
 solchen Brennspiegels zuerst (1694) die von Newton vorausgesagte Ver-
 schmelzbarkeit des Diamants bewiesen, indem sie fanden, dass derselbe im
 Brennpuncte des Spiegels allmählig verschwand.

Die Strahlen irdischer Wärmequellen sind in ganz gleicher
 Weise wie die Sonnenstrahlen reflectirbar. Um diess zu zeigen
 bedient man sich (wie zuerst der Genfer Physiker Pictot zeigte)
 des sogenannten conjugirten Brennspiegels, d. h. zweier
 gleicher Brennspiegel (von etwa 15 — 18 Zoll Durchmesser
 und 12 Zoll Brennweite), die so aufgestellt werden, dass

ihre Hauptaxen zusammenfallen. Bringt man dann in den Brennpunct des einen die Flamme einer Kerze, so werden die von demselben ausgehenden Strahlen von der Spiegelfläche parallel zur Axe zurückgeworfen. Dadurch gelangen sie zu dem andern Brennpuncte und müssen sich, auch von dieser reflectirt in dem Brennpuncte vereinigen. Aus der Temperaturerhöhung an dieser Stelle erkennt man, dass zugleich mit der leuchtenden auch wärmenden Strahlen concentrirt worden sind.

Befindet sich in dem einen Brennpuncte eine hellglühende Kohle, so entsteht eine so starke Hitze in dem andern Brennpuncte, dass leicht entzündliche Stoffe, wie Schiesspulver, Zunderschwamm, Zündhölzchen zum Aufflammen kommen. Aber auch die von nicht leuchtenden Körpern ausstrahlende Wärme lässt sich auf dieselbe Weise verdichten. Setzt man z. B. ein Gefäss mit heissem Wasser in den einen Brennpunct, die geschwärzte Kugel eines Luftthermoscops (No. 49) in den andern, so zeigt sich die Einwirkung in demselben Augenblicke, da man einen Schirm, der den einen oder andern Spiegel bedeckte, wegzieht. Eis an die Stelle des heissen Wassers gebracht, macht seinen Einfluss gleich dadurch geltend, dass in dem andern Brennpuncte die Temperatur merklich heruntergeht.

599: Aus dem Verhalten des Brennspiegels gegen die Wärmestrahlen ergibt sich als nothwendige Folge, dass die Wärme auch von ebenen Metallflächen, und zwar mit gleicher Regelmässigkeit wie das Licht reflectirt wird, und dass in Folge dieser Reflexion gleichsam ein Bild der Wärmequelle entsteht, in ähnlicher Art und sogar an derselben Stelle, wo das Lichtbild erscheint. Ausser dieser regelmässig reflectirten Wärme wird von jedem Körper, je nach dem Grade seiner Glätte ein mehr oder weniger grosser Theil der einfallenden Strahlen durch die Zurückwerfung zerstreut.

Polirte Metallplatten reflectiren einen grossen Theil aber nicht die ganze Menge der einfallenden Wärmestrahlen. Z. B. von Messing, woraus man gewöhnlich die Brennspiegel verfertigt werden nicht mehr als 65 Prozent der einfallenden Wärme regelmässig zurückgeworfen. Silber und Gold reflectiren besser Kupfer weniger gut. Nichtmetallische Körper wie Marmor, Bergkrystall besitzen selbst bei der besten Politur ein geringeres Vermögen, die Wärme regelmässig zu reflectiren. Eine mit Lampenschwarz bedeckte, sonst ebene Fläche reflectirt fast gar keine Wärme. Im Allgemeinen vermehrt sich die Menge der reflectirten Wärme mit der Grösse des Einfallswinkels.

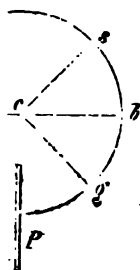
Zur näheren Prüfung dieser verschiedenen Erfahrungs-Ergebnisse bedient man sich der in Fig. 8 Pl. VI. dargestellten Geräthschaft (bedienen*)

*) Ann. d. Pharm. XXXII. 163.

1 Grade getheilte Scheibe ist mit Schraubenfüßen versehen, umal einstellen zu lassen. Aus ihrem Mittelpuncte erhebt sich ein Träger, auf welchem ein Tischchen ruht, an dessen vorderer über der Mitte der Scheibe, eine senkrecht gestellte, durchbohrte Platte festsetzt, welche mit einer dicken Lage von Laminirholz bedeckt ist. Unmittelbar gegen diese Platte lehnt sich die Scheibe, so dass die Spiegelung auf das hinter der Oeffnung beschränkt ist. Zwei bewegliche in Linien getheilte Kreisseiben sind um den Mittelpunct der Kreisscheibe drehbar; sie tragen aufrechter Richtung des Radius verrückbare Halter. Auf einem derselben befindet sich eine Wärmequelle, auf dem andern die Säule, beide genau in der mit der Oeffnung in der durchbrochenen Platte.

ab (Fig. 323) die Richtung des Spiegels; die Halter *cf* und *cg* stellt, dass sie mit der Spiegelebne gleiche Neigung haben.

323.



Über dem Puncte *f* befindet sich die Säule, über *g* die Wärmequelle und zwischen beiden ein Schirm *P*, der den direkten Uebergang der Wärme hindert, so können nur solche Wärmestrahlen bis zur Säule gelangen und eine Wirkung auf die Nadel hervorbringen, welche durch die Reflexion bei *c* eine solche Richtung bekommen haben, als kämen sie vom Puncte *s* her. Man stelle sodann den Halter *cg* sammt der Wärmequelle darüber in die Lage *cs* und entferne den Spiegel, so wird die Säule genau aus derselben Entfernung von den direkten Strahlen getroffen, aus welcher sie vorher den Eindruck der reflectirten Wärme erhielt. Die Ablenkung der Nadel wird jetzt grösser sein als vorher, und das Verhältniss beider ab-

ste entspricht dem der absoluten Menge ausgesendeter Strahlkraft der Reflexion.

Verhältniss der Reflexion bei verschiedenen Einfallswinkeln untersuchen, muss die durchbrochene Scheibe von der Spiegelebne ab-

nehmen. Forscher glauben gefunden zu haben, dass die Wärmereflexion mit zunehmendem Einfallswinkel sich vermindere, also gerade ein Verhalten nichtmetallischer Stoffe und dem Gesetze der Lichtreflexion indessen wahrscheinlich, dass dieses Resultat eine Folge der sehr gut polirten Metallplatten häufig noch wahrnehmbaren Abweichungen deren Einfluss beim schiefen Einfall die Strahlen etwas ablenken. Auf dem reinen Quecksilberspiegel bemerkt man bei grösserem Einfallswinkel ganz unzweideutige, wenn auch, bei andern Metallen, sehr langsame Zunahme der Reflexion.

Körpern ändert sich, gleichen Einfallswinkel vorausgesetzt, die Reflexion mit der Natur der Wärmequelle. Z. B. eine polirte mit einer Lage Firniss überzogen, dergleichen Marmor, rothliches Glas, Schellack, reflectiren die Wärme der Oelflamme besser von einem auf 400° erhitzten Kupferblech ausgehenden Strahler dagegen, Achat, Glas werfen die von mässig erwärmten sendeten Strahlen besser zurück, als die der Oelflamme. Die besten die von Wärmequellen aller Art abstammenden Strahlen sich gut zu reflectiren, und Kienruss, womit man die Löthtemosäule schwärzt, hält fast alle Wärmestrahlen, wo sie hin möglich, zurück.

Die meisten Körper lassen Wärmestrahlen durch.

Diese Eigenschaft hält jedoch bei den meisten nicht gleich Schritt mit ihrer Durchsichtigkeit. Man verschaffe sich z. B. farblose und gleich dicke Scheiben von Steinsalz, Fluss Spiegelglas, Gypsspath, Citronensäure, Alaun und Eis, und ste sie nach einander zwischen die Thermosäule und eine nicht leuchtende Oelflamme ohne Glasschornstein*); man wird finden, dass diese verschiedenen Körper, die sich doch gegen das Licht gleich verhalten, die Wärme in sehr ungleichen Verhältnissen durchlassen.

Nach Melloni's Beobachtungen gingen von je 100 Einheiten den Wärmestrahlen durch

Steinsalz . . .	92
Flussspath . . .	78
Spiegelglas . . .	39
Gypsspath . . .	14
Citronensäure . . .	11
Alaun	9
Eis	6

Während also das Steinsalz Licht und Wärme mit gleicher Leichtigkeit durchlässt, zeigt sich das eben so durchsichtige schwarze Glimmer bei vollkommener Undurchsichtigkeit für die Wärmestrahlen in ziemlicher Menge den Durchgang gestatten.

601. Beim Uebergang aus einem Mittel in das andere werden die Wärmestrahlen gleich den Lichtstrahlen gebrochen. Man ste ein Prisma von Glas, oder besser von Steinsalz von ziemlichem Winkel vor die Oeffnung der durchbrochenen Platte (Fig. 10) dass es dieselbe gegen die von s einfallenden Wärmestrahlen schliesst; man wird keine Einwirkung auf die bei f in der Ebene der Linie scf befindliche Säule wahrnehmen. Bewegt man den Stab cf nach der, der brechenden Prismakante entgegengesetzten Seite, so werden bei einer gewissen Grösse des Winkels die aus ihrer früheren Richtung abgelenkten Strahlen wieder an die Lichtstellen gelangen. Es ist leicht zu zeigen, dass die Ablenkung mit der Grösse des Einfallswinkels ebenfalls zunimmt, wie dass bei einer gewissen Richtung der einfallenden Strahlen dieselben von der Hinterfläche des Prisma's total zurückgeworfen werden.

602. Die Wärmestrahlen besitzen gleich den Lichtstrahlen eine ungleiche Brechbarkeit und breiten sich daher, nach

*) Wegen der hohen ungleichen Gleichförmigkeit ihrer Flamme ist die Lokalelliptische Lampe, wie von andern Vorrichtungen ohne Glasschornstein durch die prismatische Linse des Brenners unterschieden.

In das Prisma gegangen sind, über die ganze Fläche des Farbildes und selbst noch in dem dunklen Raume darüber, aus. auffallendsten bemerkt man diess bei den Sonnenstrahlen, da man sie auf einen schmalen und hohen Spalt im Laden eines unkelten Zimmers leitet und ein Steinsalzprisma davorsetzt. Dann die Fläche einer schmalen und verhältnissmässig hohen Thermosäule nach und nach gegen die verschiedenen Farben gerichtet, so zeigt sich überall eine Wärmewirkung, die sich vom Violett nach dem Roth hin zunimmt und über dem hinaus im dunklen Raume ihr Maximum erreicht. Melloni dieses Maximum vom letzten Roth des Lichtspectrum's weitens eben so weit entfernt, als in umgekehrter Richtung das abblau vom Roth. An dieser Stelle fallen also die Wärmestrahlen am dichtesten ein; oder unter den verschiedenen Wärmestrahlen der Sonne sind diejenigen von dieser mittleren Brechbarkeit in verhältnissmässig reichlichster Menge vorhanden.

Andere Wärmequellen liefern ein viel weniger ausgedehntes Spectrum und im Allgemeinen findet man, dass die stärker brechbaren Strahlen mehr und mehr fehlen, je niedriger die Temperatur der Quelle ist. Wärmestrahlen die von einem Körper von Temperatur des siedenden Wassers ausfuhren, sind selbst niger brechbar als die äussersten rothen Lichtstrahlen.

Auch die Beschaffenheit des brechenden Mittels ist von Einfluss. So findet man, dass das Maximum der wärmenden Kraft Sonnenspectrum's bei Anwendung eines Prismas von Flintglas zwar immer noch im dunklen Raume befindet, aber jetzt ganz beim letzten Roth. Bei Prismen von Crownglas im Roth ist, bei hohlen Prismen gefüllt mit Schwefelsäure im Orange wenn sie mit Wasser gefüllt sind, im Gelb.

Da diese verschiedenen Mittel erfahrungsmässig auch weniger Wärme durchlassen als das Steinsalz, so sieht man nun deutlich, dass ihre Wirkung, bei den einen mehr, bei den andern weniger, darin besteht, dass sie die Wärmestrahlen von geringer Brechbarkeit verschlucken. Damit stimmt auch das übrige Verhalten dieser Körper überein.

Eine klare Steinsalzplatte von 2,6mm Dicke liess von 100 einfallenden Strahlen jedesmal 92 durchgehen, gleichgültig von welcher Quelle sie abstammten. Mit einer gleich dicken Platte von Rauchgelbglas wurden folgende Resultate erhalten:

Wärmequelle:	Durchgelassen von 100 Strahlen:
antische Lampe mit Glasschirm	62
atelli'sche Lampe	39
ende Platinspirale	24
chwärztes Kupferblech auf 400° erhitzt	6
- — auf 100° erhitzt	0

Die Diathermanität des Glases erstreckt sich also hauptsächlich auf Strahlen von grosser Brechbarkeit. Gegen Strahlen geringerer Brechbarkeit, wie sie aus dem heissen Wasser kommen ist es atherman. Es verhält sich gegen dieselben, wie korbblaues Glas gegen gelbes und rothes Licht. Gyps, Gips, Schwefelsäure, Alaun, sind selbst gegen die, von dem bis zu 100° C Kupferblock, ausgehenden Strahlen atherman. Eis und Wasser der grössten Klarheit lassen nur die allerbrechbarsten durch.

Die diathermanen Mittel verhalten sich also gegen Wärmestrahlen, ähnlich wie gefärbte Gläser gegen das Licht, indem sie Strahlen von gewisser Brechbarkeit durchlassen, atherman für Strahlen von anderer Brechbarkeit. Jeder Körper gleichsam seine eigenthümliche Wärmefarbe. (Diathermanität).

Unter den bis jetzt geprüften Körpern haben sich nur Luft und Wasser als vollkommen diatherman, gleichsam farblos gegen die Wärmestrahlen gezeigt. Auch findet man, dass Strahlen aller Art durch die besten Steinsalzplatten, Farblosigkeit und Klarheit vorausgesetzt, derselben Leichtigkeit fahren, wie durch ganz dünne. Stehen mehrere Salzplatten hinter einander, so veranlasst jede einen kleinen Verlust Reflexion und zwar jede denselben verhältnissmässigen Theil der Menge, nämlich 7—8 Procent.

Bei andern, in Folge ihrer Wärmefarbe nur unvollkommen diathermanen Mitteln, ist die Dicke der Platte nicht ohne Einfluss auf die Menge durchgehenden Strahlen. Doch bemerkt man, dass der Verlust durch Absorption hauptsächlich in den vordersten Schichten stattfindet, und sich bei zunehmender Dicke der Platte mehr und mehr einer gewissen Höhe nähert. Man stelle z. B. eine ziemlich dicke, aber klare Glasplatte mehrere dünnere hintereinander in genügendem Abstände von der electrischen Säule auf, und nähere die Lampe bis man einen Ausseß von 30° erhalten hat. Man stelle dann noch eine Glasplatte vor die hergehenden. Die Nadel wird höchstens um einige Grade zurückgehoben, alle Strahlen, deren Wärmefarbe mit der des Glases nicht übereinstimmt, wären bereits verschluckt worden; durch die neu hinzukommende Platte konnte daher nur noch ein kleiner Verlust durch Zurückwerfung eintreten. Ganz gleich verhalten sich die durch Glas gefahrenen Strahlen gegen andere diathermane Mittel, wenn diese wie Bergkrystall und Kalkspat selbe Wärmefarbe wie das Glas, oder wie Flussspath und Steinsalz noch vollkommeneren Grad der Diathermanität besitzen.

Setzt man dagegen eine klare Alaunplatte zwischen die Säule und das aus dem Glase tretenden Wärmestrahlen, so geht die Nadel, welche Annahme auf 30° stand, bis auf 7 oder 8° zurück; als Beweis, dass die Wärmefärbung des Alauns von der des Glases abweicht. Entsetzt man hierauf alle Glasplatten, welche den direkten Zutritt der Wärmestrahlen zum Alaun verhinderten, so wird dennoch die Ablenkung der Nadel kaum mehr werden.

Es geht hieraus hervor, dass der Alaun keine Strahlen durchlässt, welche nicht auch durch Glas gehen können, während er für viele andere, die das Glas ungeschwächt zu durchfahren vermögen.

Ein durch Kupferoxyd gefärbtes grünes Glas vor die Alaunplatte stellt, hemmt allen Wärmedurchgang, obschon das grüne Glas für sich atherman ist. Beide Körper stehen also zu den Wärmestrahlen in der gleichen Beziehung wie rothes und grünes Glas gegen das Licht. Auch zwischen parallelen Platten von grünem Glase eingeschlossen auf

Miloni den Durchgang der strahlenden Wärme so vollständig, dass Strahlen, welche durch ein solches System gegangen waren, auf das Papier nicht mehr einwirken, selbst wenn sie mittelst einer Linse bis zu dem direkten Sonnenlichte concentrirt werden.

Seit Jahrhunderten bekannte Erfahrung, dass sich die wärmende Wirkung der Sonnenstrahlen durch optische Linsen (Brenn gläser) concentrirt, ist für sich schon den Beweis, dass die Wärmestrahlen gleichen Lichtstrahlen der Sonne brechbar sind. Will man jedoch auf diesem Wege eine mögliche Wärmeverdichtung erzielen, so muss man anstatt der Gläser Linsen von Steinsalz wählen, mit deren Hilfe Wärmestrahlen jeder Art in die Nähe ohne Verlust, je nach der gegenseitigen Stellung der Linse und der Linse, parallel oder convergirend gemacht werden

Die Analogie der Wärmestrahlen mit den Lichtstrahlen erstreckt sich auch auf diejenigen eigenthümlichen Veränderungen des Lichtes, von welchen nur die Vibrationstheorie in befriedigender Weise Rechenschaft zu geben vermag. Die Wärmestrahlen verhalten sich unter denselben Umständen wie die Lichtstrahlen gegen Gitter (Knoblauch) und bringen Interferenzfransen (Fizeau und Foucault), welche mit denen des Lichtes übereinstimmen. Sie erleiden, wie schon aus früheren Untersuchungen von Forbes und Melloni bekannt und durch neuere Versuche von Knoblauch, Desains und de la Provostaye bestätigt ist, unter gleichen Verhältnissen wie Lichtstrahlen die doppelte Brechung, und lassen sich sowohl durch Reflexion und einfache Refraction, als auch durch die doppelte Brechung polarisiren. Diese Erscheinungen treten hervor, wenn man an die Stellen, an welchen das Auge die ähnlichen Erscheinungen wahrnimmt, ein Thermometer von genügender Empfindlichkeit setzt. Selbst die Drehung der Polarisationsebene der Wärmestrahlen hat man sowohl durch Bergkrystall, Zuckerlöserpentinöl, wie auch durch electromagnetische Einwirkung hervorgeführt. Turmalinplatten und Nikolsche Prismen als Mittel zur Prüfung der Wärmestrahlen zu polarisiren oder sie auf ihre Polarisation zu prüfen, verhalten sich bei der Wärme ganz so wie bei dem Lichte. Insbesondere bewirken nach Knoblauch die Nikolschen Prismen eine sehr vollständige Polarisation.

Da dieser nach allen Richtungen verfolgten und überall beobachteten Aehnlichkeit zwischen der Eigenschaft der Lichtstrahlen und Wärmestrahlen, lässt sich nicht bezweifeln, dass beide von einem Ursprunge sind. Und da es gegenwärtig ausgemacht ist, dass die Fortpflanzung des Lichtes auf Aetherschwingungen beruht, so kann man, zumal bei Beachtung der vollkommenen Übereinstimmung der wärmenden Strahlen der Sonne mit den von anderen Quellen abstammenden, für die Wärmestrahlen nicht ein anderes Mittel der Fortpflanzung voraussetzen.

Das Verhalten des Wärmespectrums, der Umstand, dass bei der Zerlegung der grösste und intensivste Theil desselben noch die Dispersion experimentalphysikalisch.

seits des äussersten Roth liegt, folglich aus Strahlen von sehr geringer Brechbarkeit besteht, scheint darauf hinzuweisen, dass diejenigen Aetherwellen, welche beim Eindringen in die Masse der Körper sich vorzugsweise in Wärme umsetzen, sich von den Lichtwellen nur durch grössere Länge unterscheiden, also durch geringere Schwingungsgeschwindigkeit der Aethertheilchen gebildet sind.

Dass sie in das Auge eindringend nicht das Gefühl von Licht hervorbringen können, würde daraus erklärbar sein, weil die Flüssigkeiten des Auges fast ausschliesslich aus Wasser bestehen, also die Strahlen von geringer Brechbarkeit verschluckt ehe sie die Netzhaut erreichen können.

604. Wärmestrahlen, die nicht reflectirt oder durchgelassen werden, werden verschluckt. Nur diese tragen zur Erwärmung bei.

Bei athermanen Körpern stehen Reflexion und Absorption in umgekehrten Verhältnisse. Alles was das Reflexionsvermögen mindert, muss daher das Absorptionsvermögen vermehren. So wird das Absorptionsvermögen einer Metallplatte durch Firnisüberzug beträchtlich vergrössert; mit Lampenschwarz überzogen wird sie fast alle einfallenden Strahlen einsaugen und sich am stärksten erwärmen, weil sie in diesem Falle fasst nichts reflectirt. Den grossen Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit auf das Einsaugungsvermögen haben schon Leslie und Rumford nachgewiesen. Melloni hat daraus ein einfaches Mittel abgeleitet, die Vermögen verschiedener Körper zu vergleichen.

Die Thermosäule wird mit ihrem conischen Reflector versehen. Man nimmt hierauf eine Anzahl dünner Messingscheiben, alle aus derselben Tafel geschnitten, deren Durchmesser den der äusseren Oeffnung des Reflectors wenig übertrifft; schwärzt man auf der einen Seite und gibt ihnen auf der andern einen dünnen gleichförmigen Anstrich von der Materie, welche geprüft werden soll.

Diese Scheiben werden nach einander dicht vor dem Reflector an einem Halter (von Elfenbein, um die Ableitung der Wärme zu verhüten) so befestigt, dass sie ihre geschwärzte Seite der Säule, die mit der zu prüfenden Materie bedeckte, der Wärmequelle zukehren. Je nach der Fähigkeit der verschiedenen Oberflächen, die von derselben Quelle ausfahrenden Strahlen einzusaugen, werden nun die Scheiben mehr oder weniger erwärmt und veranlassen eine verhältnissmässige Ablenkung des Nadel.

So ist die folgende Tafel entstanden.

Name der Körper	Natur der Wärmestrahlen			
	Glühendes Platin	Kupfer von 400° geschwärzt	Kupfer von 100° geschwärzt	Durch das Glas der Argandischen Lampe gefahren
Wasser . . .	100	100	100	100
Wasser . .	56	89	100	21
Glas . . .	54	64	91	45
Wasser . . .	95	87	85	100
Wasser . .	47	70	72	30
Metall-				
Wasser . . .	13,5	13	13	17

Absorption des Kienrusses ist als Mass der Vergleichung gewählt, Wärme aus allen Quellen gleich wenig reflectirt, man daher schliesse, dass sein Einsaugungsvermögen sich auf Wärmestrahlen jeder gleicher Vollständigkeit erstreckt. Man sieht nun aus dieser Tafel, dass reine Metallfläche sich gegen verschiedene Strahlengattungen ungleich verhält. D. h. die Metalle sind farblos gegen die Wärme wie elasten gegen das Licht sind.

Die Stoffe absorbiren je nach ihrer eigenthümlichen Wärmefarbe die durchsichtigeren, bald die weniger durchsichtigen am vollständigsten. Wasser z. B. absorbirt die von der Siedhitze des Wassers ausgehenden Strahlen gerade so gut wie Kienruss, aber die zum Glase ausfahrenden nur in geringen Theile. Tusch verhält sich im umgekehrten Sinne und absorbirt die letzten am besten.

Leon hat die merkwürdige Beobachtung gemacht, dass auch der Schnee eine bestimmte, der des Bleiweisses ähnliche Wärmefarbe besitzt, die aber demgemäss die Strahlen einer Wärmequelle, deren Temperatur nicht viel übertrifft, weit vollständiger einsaugt, als die Sonnenstrahlen zu den Körpern, welche das beste Absorptionsvermögen für die Strahlen besitzen, gehört das Wasser, der mit organischen Stoffen vermengte Boden, grünende Pflanzen. Die früher verbreitete Ansicht, dass schwarze Körper die Wärme vorzugsweise einsaugen, weisse dagegen zurückwerfen ist nicht allgemein richtig. Ueberhaupt ist das Vermögen nur von der inneren Beschaffenheit der Stoffe, nicht von ihrer Farbe, d. h. von ihrem Verhalten gegen die Lichtstrahlen

Die Reflexigkeit der Oberfläche bei sonst reiner Beschaffenheit ist ohne Einfluss auf das Absorptionsvermögen. Natürlich vermindert sich aber in dem Masse, als die Politur geringer ist, die Menge der regelmässig reflectirten Wärme. Eine raue Metallfläche reflectirt fast nur zerstreute Wärme und verhalten daher gegen die Wärmestrahlen wie eine unpolirte weisse Fläche gegen das Licht. Die von andern Körperoberflächen zerstreut reflectirte Wärme wird gewöhnlich ihrer Farbe, je nach der vorherrschenden Absorptionsvermögen der reflectirenden Fläche für diese oder jene Strahlensorte.

Innerhalb der Grenze niederer Temperaturen bis zum Siedepunkt des Wassers oder doch nicht viel darüber, hat man das Absorptionsvermögen der Körper ihrem Ausstrahlungsvermögen

gleich gefunden. Oben war z. B. angeführt worden, dass Kienruss, Bleiweiss und Messing einer Wärmequelle von 100° gegenüber, Wärmemengen aufsaugen, die sich wie die Zahlen 100 zu 100 zu 13 verhalten. Dieselben Zahlen drücken aber auch das Ausstrahlungsvermögen dieser Körper aus, wenn man sie bei demselben Grade der Erwärmung vergleicht.

Diese Uebereinstimmung beider entgegengesetzter Vermögen hört aber auf, sobald die Temperatur der Wärmequelle für beide Versuchsreihen beträchtlich verschieden ist; wenn man z. B. die Ausstrahlung bei 100° Erwärmung der Körper untersucht, dagegen zur Prüfung des Absorptionsvermögens sie den Strahlen einer Oelflamme aussetzt. Der Grund ist, wie leicht zu sehen, die der Temperaturerhöhung zugleich eintretende Veränderung in der Wärmefarbe der Strahlen.

T a f e l n

zum

Verbrauche des Physikers und Chemikers.





Tafeln

zum Gebrauche des Physikers und Chemikers.

Tafeln zur Vergleichung der gebräuchlichsten Maasse.

1. Grösse verschiedener Längenmaasse.

Bezeichnung des Maasses.	Grösse in		Andere bemerkenswerthe Maasse.
	Millimeter.	Pariser Linien.	
(1)	1000	443,296	
Fuss Dec. (1)	300	132,989	10' = 1 Ruthe; 2' = 1 Elle; 29629 ¹⁷ / ₂₇ ' = 1 Meile.
l. Fuss Duodec.	291,8592	129,380	10' = 1 Ruthe; 1 Elle = 833,01 Millimeter.
n. Meter. (s. dieses)	. . . . .	. . . . .	1 brabant. Elle = 699,2 Millimetr.
schweiz. Fuss Duodec.	285,3624	126,500	16' = 1 Ruthe; 2' = 1 Elle; 26000' = 1 Meile.
n. Fuss Duodec.	289,3507	128,268	16' = 1 Ruthe; 2' = 1 Elle.
sark. rheinl. F. Duodec.	313,8535	139,130	10' = 1 Ruthe; 2' = 1 Elle; 6' = 1 Faden; 24000' = 1 Meile.
nd. Fuss Duodec. (2)	304,7945	135,114	
furt. Fuss Duodec. . .	284,6000	126,162	10,5' = 1 Ruthe; 1 Elle = 23,0609'' = 547,3 Millimetr.
reich. Meter.			
pariser Fuss Duodec.	321,8394	144,000	
urg. Fuss Duodec. . . .	286,4903	127,000	16' = 1 Ruthe; 2' = 1 Elle.
ver. Fuss Duodec. . . .	292,0947	129,484	16' = 1 Ruthe; 2' = 1 Elle; 25400' = 1 Meile.
			Das Berglächter = 851,25 par. Lin.
n Darmst. Fuss Dec. (1)	250,0000	110,824	10' = 1 Klftz.; 24'' = 1 Elle; 3000 Klftz. = 1 Meile.
n Kassel. Neuer Fuss dec. = 11 rheinl. Zoll .	287,6991	127,538	1 Ruthe = 3,9887 Meter; 1 Elle = 570,4 Millimetr. 26000' = 1 Meile.
sk. Fuss Duodec.	291,0000	129,000	16' = 1 Ruthe; 1 Elle = 255,25 par. Lin.
u. Fuss Duodec.	287,8400	127,598	1 Ruthe = 5 Meter; 1 Elle = 555,5 Millimetr.
riande. Meter (Elle) (1) egen. rheinl. F. Duodec.			

Bezeichnung des Maasses.	Grösse in		Andere bemerkenswerte Maasse.
	Millimeter.	Pariser Linien.	
Oestreich. Wiener F. Duodec. (3)	316,1109	140,126	10' = 1 Rthe; 2,465' = 1 Elle.
Preussen. rheinl. F. Duodec. (3)	313,8535	139,130	12' = 1 Rthe; 1 Elle = $25\frac{1}{2}$ L = 666,52 Millimetr. 1 Fathen = 6'; 1 Bergklat- ter = 80 Zoll.
Rom. Fuss der alten Römer	295,9	131,14	
Russland. Englischer F. (4)	304,7945	135,114	
Sachsen. Fuss Duodec. . . .	283,1901	125,537	15 $\frac{1}{4}$ ' = 1 Rthe; 2' = 1 Elle; 1 Bergklatter = 3 Met. 32000' = 1 Meile.
Sachs. - Weimar. F. Duodec.	281,9787	125,000	16' = 1 Rthe; 2' = 1 Elle; 26096' = 1 Meile.
Schweden. Fuss Duodec. u. Dec.	296,9010	131,615	
Schweiz. Neuer Fuss Dec. wie Baden	300,0000	132,969	16000' = 1 Wegstunde.
Spanien. Castilianischer F. Duodec.	282,6553	125,300	
Württemberg. Fuss. Dec. . .	286,4903	127,000	10' = 1 Rthe; 1 Elle = 3,14' = 614,235 Millimetr.

Anmerkungen. 1) Die eigentliche Grundlage des neuen französischen Maasssystems bildet die sogenannte Toise von Peru, deren Länge 6 pariser Fuss beträgt. 443,296 Linien von der Toise bei einer Temperatur von 16°,25 C. abgemessen und auf die Materie des Meters, welche der Temperatur 0° ausgesetzt war, übertragen, gab die wahre Länge des Meters. Die Originaltoise ist auf einer Eisenstange, das Originalmeter auf einer Platinstange aufgetragen. In Normalmaassstäben, welche von diesen Originalmaassen abgeleitet sind, entwerder die Materie derselben beibehalten oder die Temperatur, wobei die Uebertragung (z. B. von Platin auf Messing) stattfand, angemerkt werden muss, weil sich sonst der Fehler wegen der ungleichen Ausdehnung nicht mehr genau berichtigen lässt.

Das Meter ist ungefähr ein Zehnmilliontel von der Entfernung des Äquators zum Pole.

1 Meter = 10 Decimeter = 100 Centimeter = 1000 Millimeter.

1000 Meter = 1 Kilometer = 10 Hectometer = 100 Decameter.

4000 Meter od. 4 Kilometer = 1 franz. Meile (lieue de poste) = 12745 $\frac{1}{2}$ P.

In Belgien, in den Niederlanden und im lombardisch-venetianischen Königreiche ist das neue französische Maasssystem unverändert angenommen worden.

Das grossherzoglich hessische und badische Maasssystem ist von dem metrischen abgeleitet, in der Weise, dass 12 darmst. Fuss = 10 bad. F. = 5 Meter.

In beiden Staaten zerfällt der Fuss in 10 Zoll oder in 100 Linien.

10 darmst. F. = 1 darmst. Klafter; 10 bad. F. = 1 bad. Ruthe.

24 darmst. Zoll = 20 bad. Zoll = 1 Elle.

In der Schweiz gilt dasselbe Längenmaass wie in Baden.

2) Die Grundlage der englischen Längenmaasse ist das Yard. Das Originalmaass ist von Bird im Jahre 1760 auf einer Messingstange aufgetragen. Es hat seine gesetzlich richtige Länge bei 62° F. = 16°,67 C.

= 3 engl. F.; 1 Fuss = 12 Zoll = 144 Linien.
 6 Fuss = 1 Fathom (Faden). 5,5 Yards = 1 engl. Ruthe (rod).
 Meile = 1760 Yards = 1609,315 Meter = 5307 preuss. Fuss.

Verschieden hiervon ist die englische und französische Seemeile, von denen die eine einen Grad gehen.

Die Veränderlichkeit des engl. Maasssystems stützt sich gesetzlich auf die Sekundenpendels, welche in der Breite von London, auf den Meeres-
 ebenen luftleeren Raum reducirt 39,1393 engl. Zoll beträgt.

In Oesterreich ist im Jahre 1816 der wien. Fuss und in Preussen im Jahre 1817 der rheinländische Fuss zum Landesmaass gesetzlich geordnet. Beide Systeme sind mit dem pariser Fuss genau verglichen und haben ihre richtige Länge bei 16°,25 C.

1 wien. Klafter = 6 wien. Fuss; 102764 wien. Klafter = 100000 par. Tois.
 1 wien. Klafter = 1 Oesterreich. Postmeile = 24174 rheinl. Fuss.
 12 wien. Fuss = 1 preuss. Fuss.

1 rheinl. Fuss = 1 preuss. Meile = 7532,4 Meter.
 1 rheinl. Fuss = 7416 Meter = 1 deutsche oder geographische Meile, von der 15 auf einen Aequatorgrad gehen.

Grundlage des russischen Längenmaasses ist der dem englischen gleiche Fuss, welcher in 12 Zoll, und der Zoll in 10 Linien getheilt ist.

1 russ. Zoll = 1 Arschine (Elle); 7 russ. Fuss = 1 Sashen (Faden);
 1 russ. Sashen = 500 Sashen = 1 Werst = 3400 rheinl. Fuss.

2. Vergleichung einzelner germanischer Stammesnamen unter einander und mit dem Metre (Mittlerer, Bannowang, multimedischer Tabelle.)

Metre.	Pariser Q. F.	England Q. F.	Preussn. Rheinl. Q. F.	Bayern. Q. F.	Hannover. Q. F.	Sachsen. Q. F.	Braunschweig. Q. F.	Il. Kessel. Nassau. Q. F.	Wettin. berg. Hessn. Q. F.	Hessen. Schwes. Q. F.	Oestreich. Wiener Q. F.	Frankfurt. Q. F.	Hessen. Darmstadt. Q. F.
1	3,074411	3,294169	3,101109	3,436310	4,133437	3,341197	3,404310	3,172531	3,190119	3,132333	3,166116	3,311028	1,998111
0,3238304	0,3388924	1,005105	1,035903	1,113300	1,113103	1,131072	1,135310	1,170601	1,113310	1,127333	1,027612	1,113103	1,198111
0,3101013	0,3088924	1,028122	0,9711301	1,013320	1,013103	1,130200	1,080996	1,035121	1,063501	1,010382	0,9612010	1,070037	1,210176
0,3106533	0,3081900	1,028122	0,9711301	1,013320	1,013103	1,130200	1,080996	1,035121	1,063501	1,010382	0,9612010	1,070037	1,210176
0,2918592	0,2918592	0,9573003	0,9289217	1,000007	0,9991637	1,008111	1,023492	1,011340	1,018710	0,9728610	0,9247800	1,025306	1,161137
0,2929917	0,2918592	0,9573003	0,9289217	1,000007	0,9991637	1,008111	1,023492	1,011340	1,018710	0,9728610	0,9247800	1,025306	1,161137
0,2831901	0,2717817	0,9201180	0,9002300	0,9177100	0,9083514	1,007671	1,008111	0,9918731	0,9888030	0,9139081	0,9062787	1,002079	1,132709
0,2953921	0,2831722	0,9346733	0,9002300	0,9177100	0,9083514	1,007671	1,008111	0,9918731	0,9888030	0,9139081	0,9062787	1,002079	1,132709
0,2961903	0,2953921	0,9346733	0,9389139	0,9121154	0,9083514	1,011654	1,056339	1,017199	1,017199	1,017199	0,9510000	1,117091	1,170796
0,3000000	0,2953921	0,9346733	0,9389139	0,9121154	0,9083514	1,011654	1,056339	1,017199	1,017199	1,017199	0,9510000	1,117091	1,170796
0,3161109	0,3161109	1,037129	1,007193	1,083094	1,082231	1,169530	1,169530	1,169530	1,169530	1,169530	1,169530	1,169530	1,169530
0,2944900	0,2944900	0,933140	0,9063924	0,933140	0,933140	1,001979	1,001979	0,9973252	1,001979	1,001979	0,9973252	1,001979	1,169530
0,2800000	0,2800000	0,709217	0,7093197	0,7093197	0,7093197	0,8921992	0,8921992	0,8921992	0,8921992	0,8921992	0,8921992	0,8921992	1,169530

3. Vergleichung einiger Quadralfisse unter einander und mit dem Quadrat - Metre.

Q. Metre.	Pariser Q. F.	England Q. F.	Preussn. Rheinl. Q. F.	Bayern. Q. F.	Hannover. Q. F.	Sachsen. Q. F.	Braunschweig. Q. F.	Il. Kessel. Nassau. Q. F.	Wettin. berg. Hessn. Q. F.	Hessen. Schwes. Q. F.	Oestreich. Wiener Q. F.	Frankfurt. Q. F.	Hessen. Darmstadt. Q. F.
1	0,170817	10,70139	10,13187	11,33990	11,33007	12,10836	12,29423	12,08136	12,18372	11,11111	10,00739	12,43179	16,00000
0,1033207	0,2801934	1,133536	1,071232	1,235710	1,236073	1,313715	1,220318	1,218834	1,218834	1,172152	1,035397	1,362770	1,687300
0,0929909	0,0833019	1,000327	0,9431033	1,090003	1,089517	1,108389	1,089517	1,108389	1,108389	1,072733	0,9298386	1,149050	1,387394
0,08519103	0,0702523	1,000327	0,9431033	1,090003	1,089517	1,108389	1,089517	1,108389	1,108389	1,072733	0,9298386	1,149050	1,387394
0,08531033	0,0702523	0,9615413	0,9111328	0,9615413	0,9615413	1,0082102	1,010652	1,0082102	1,0082102	1,0082102	0,9241176	1,101132	1,367306
0,08519103	0,0702523	0,9615413	0,9111328	0,9615413	0,9615413	1,0082102	1,010652	1,0082102	1,0082102	1,0082102	0,9241176	1,101132	1,367306
0,08019671	0,0800006	0,9111328	0,8709839	0,9111328	0,9111328	1,015101	0,9813327	0,9813327	0,9813327	0,9813327	0,9241176	1,101132	1,367306
0,08019671	0,0800006	0,9111328	0,8709839	0,9111328	0,9111328	1,015101	0,9813327	0,9813327	0,9813327	0,9813327	0,9241176	1,101132	1,367306
0,07827076	0,0781031	0,8086902	0,7810823	0,8086902	0,8086902	1,023111	1,007021	1,007021	1,007021	1,007021	0,9241176	1,101132	1,367306
0,07827076	0,0781031	0,8086902	0,7810823	0,8086902	0,8086902	1,023111	1,007021	1,007021	1,007021	1,007021	0,9241176	1,101132	1,367306
0,07497071	0,07497071	0,8086902	0,7810823	0,8086902	0,8086902	1,023111	1,007021	1,007021	1,007021	1,007021	0,9241176	1,101132	1,367306
0,07497071	0,07497071	0,8086902	0,7810823	0,8086902	0,8086902	1,023111	1,007021	1,007021	1,007021	1,007021	0,9241176	1,101132	1,367306
0,07000000	0,07000000	1,011137	1,011137	1,011137	1,011137	1,113061	1,113061	1,113061	1,113061	1,113061	1,113061	1,113061	1,113061
0,07000000	0,07000000	1,011137	1,011137	1,011137	1,011137	1,113061	1,113061	1,113061	1,113061	1,113061	1,113061	1,113061	1,113061
0,06000011	0,06000011	0,712178	0,712178	0,712178	0,712178	0,9484142	0,9484142	0,9484142	0,9484142	0,9484142	0,9484142	0,9484142	1,113061
0,06000011	0,06000011	0,712178	0,712178	0,712178	0,712178	0,9484142	0,9484142	0,9484142	0,9484142	0,9484142	0,9484142	0,9484142	1,113061
0,06026000	0,06026000	0,6311911	0,6311911	0,6311911	0,6311911	0,7193337	0,7193337	0,7193337	0,7193337	0,7193337	0,7193337	0,7193337	1,113061

0,03477727	1	29,17385	35,31658	32,31587	40,22330	40,12627	44,04116	43,03380	41,98374	42,57182	37,03701	31,63765	43,42833	64,00000
0,02631531	1	1	1,210656	1,106724	1,47732	1,37319	1,562288	1,473461	1,438131	1,457127	1,269529	1,085145	1,466966	2,183746
0,03091584	1	0,9019342	1,091742	0,9198536	1,138841	1,136198	1,246773	1,216815	1,184066	1,201180	1,046716	0,9964019	1,228336	1,612180
0,02468108	1	0,7252834	0,9578081	1	1,243543	1,240538	1,361279	1,330426	1,298772	1,314774	1,146031	0,9787291	1,341137	1,963176
0,02492133	1	0,8401360	0,9461021	1	1	0,9875840	1,094678	1,069667	1,044010	1,057291	0,9207612	0,7670466	1,078486	1,591108
0,02271088	1	0,6655639	0,8434833	0,9061021	1,002423	1	1,097330	1,072458	1,046540	1,069942	0,9230121	0,7868556	1,081105	1,594968
0,02323755	1	0,5779248	0,7516349	0,8431510	0,9321363	0,9113031	1	0,9773358	0,9537149	0,9898375	0,8408500	0,7168776	0,9882112	1,453486
0,02381307	1	0,4970706	0,7346833	0,8346855	0,9241363	0,9113031	1,023190	1	0,9758317	0,9898375	0,8408500	0,7336308	1,006068	1,467202
0,02351418	1	0,5706962	0,7702546	0,8578450	0,9355298	0,9355298	1,048531	1,021707	0,9874486	1	0,8818656	0,7534706	1,033026	1,524735
0,02700000	1	0,8304405	0,7605868	0,8435827	0,9435366	0,9435366	1,035371	1,011905	0,9674486	1	0,8818656	0,7441064	1,020089	1,504900
0,03158774	1	0,8786940	0,835476	0,868034	1,068034	1,068034	1,161913	1,161913	1,133831	1,148243	1	0,8547619	1,171262	1,729400
0,02308179	1	1,115571	1,021733	1,270670	1,267199	1,267199	1,398464	1,358341	1,329498	1,343349	1,169916	1	1,370228	2,021616
0,01562500	1	0,6141105	0,7156305	0,8248829	0,9248829	0,9248829	1,015011	0,9922373	0,9690310	0,9840362	0,8537700	0,7297703	1	1,473760
		0,5519216	0,5064044	0,6284928	0,6284928	0,6284928	0,6879861	0,6724033	0,6561526	0,6644928	0,5757040	0,4946228	0,6765370	1

*) Das C. Metre unter dem Namen Stere bildet die Einheit des französischen Holzmasses.
0,001 C. M. = 1 C. Decimetr. gilt als Einheit der metrischen Holzmasse, und wird Litre genannt.
1 Litre = 1000 C. Centimetr. = 50,412416 par. C. Zoll = 55,894 preuss. C. Z.; 100 Litres = 1 Hectölitre.

5. Grösse verschiedener Feldmaasse.

<i>Bezeichnung des Maasses.</i>	Grösse in Q. Decamet. (Are *).	Andere bemerkte Maasse.
Baden. Morgen = 400 Q. Ruthen	36,000	1 Q. Ruthe = 9 Q.
Baiern. Tagewerk = 400 Q. Ruthen . .	34,073	1 Q. R. = 8,518 Q
Belgien, wie Frankreich.		
Braunschweig. Feldmorgen = 120 Q. R.	25,016	1 Q. R. = 20,847
England. Acre = 160 Q. Ruth. (rod) = 4 Viertel (rod of land)	40,467	1 Q. R. = 25,292
Frankfurt. Feldmorgen = 160 Q. Ruth.	20,249	1 Q. R. = 12,656
Frankreich. Hectare = 100 Ares (Q. Dec.)	100,000	1 Q. Decam. = 10
Hannover. Morgen = 120 Q. Ruthen . .	26,210	1 Q. R. = 21,842
Hessen-Darmstadt. Morgen = 4 Viertel = 400 Q. Klafter	25,000	1 Q. Klft. = 6,2
Hessen-Kassel. Acker = 150 Q. Ruthen	23,865	1 Q. R. = 15,900
Nassau. Morgen = 100 Q. Ruthen . . .	25,000	1 Q. R. = 25,000
Niederlande, wie Frankreich.		
Oestreich. Wiener Joch = 1600 Q. Klft.	57,557	1 Q. Klft. = 3,5
Preussen. Morgen = 180 Q. Ruthen . . .	25,532	1 Q. R. = 14,185
Sachsen. Acker = 300 Q. Ruthen	55,342	1 Q. R. = 18,447
Schweiz, wie Baden.		
Württemberg. Morgen = 384 Q. Ruthen .	31,517	1 Q. R. = 8,208

*) Die Are = 100 Quadr. Metres ist die Einheit des jetzigen französischen Feldmaasses.

6. Grösse verschiedener Hohlmaasse.

<i>Benennung des Maasses.</i>	Grösse in Litres.	Andere bemerkenswerthe Maasse.
Maas = 4 Schoppen = $\frac{1}{16}$	1,500	100 Maas = 1 Ohm.
.....	150,000	100 Maas (Meslein) = 10 Sester = 1 Malter.
Maaskanne = 0,043 C. F.	1,069	64 Maaskannen = 1 Eimer.
fel	222,358	208 Maaskannen = 6 Metzen = 1 Scheffel.
Imper. Gall. = 277,274		
4 Quarts = 8 Pints . . .	4,513 158	64 Gall. = 8 Bushels = 1 Quart.
te (Flüssigkeitsmaass)	0,568	1 Bushel gehäuft (das Kohlenmaass) hält 46,13 Litres.
arter (Getraidemaass) .	290,781	36 solcher Bush. = 1 Chaldron.
rt. Aichmaas = 4 Schop.	1,793	80 Maas = 20 Viertel = 1 Ohm.
r	114,752	64 Maas oder Gescheid = 16 Sechter = 4 Simmer = 1 Malter.
ich, Belgien, Niederlande.		
.....	1,000	100 Litres = 1 Hectolitre, für Flüssigkeiten u. Früchte.
g. Kanne = 2 Quartier =		
l.	1,805	80 Kannen = 40 Stübchen = 20 Viertel = 4 Anker = 1 Ohm.
e (Fruchtmaass) = 4 Spint		
, Fass	26,325	
r. Kanne = 2 Quartier =		
l.	1,947	80 Kannen = 4 Anker = 1 Ohm.
= 1 Stübchen = 270 C. Z.		8 Kannen = 1 Hinten (Fruchtmaass).
en (Fruchtmaass) = 1,25		6 Hinten = 1 Malter; 8 Malter = 1 Winspel.
.....	31,152	
Darmstadt. Maas = 4		
en = 128 C. Z.	2,000	80 Maas = 4 Viertel = 1 Ohm.
r = 8192 C. Z.	128,000	64 Maass od. Gescheid = 16 Kumpf = 4 Simmer = 1 Malter.
h. Wiener Maas = 4 Sei-		
l,0448 C. F.	1,415	
er Metzen (Fruchtmaass)		
9471 C. F.	61,505	
n. Quart = 64 C. Z.	1,145	120 Quart = 4 Anker = 1 Ohm.
ffel = 3072 C. Z.	54,962	48 Q. = 16 Metzen = 1 Scheffel.
.....		4 Scheffel = 1 Tonne.
Dresdener Kanne . . .	0,937	72 Kannen = 1 Elmer.
l. Scheffel = 7900 C. Z. .	103,829	1 Scheffel = 4 Quart = 16 Metz.
.....		12 Scheffel = 1 Malter.
n. Kanne = 0,1 C. F. . .	2,617	
, wie Baden.		
berg. Hell - Eichmaas =		
. Z.	1,837	160 Maas = 1 Eimer; 1 Eimer = 16 lmi.
fel = 7537 C. Z.	177,226	1 Scheffel = 4 Simri = 16 Vierling.

II. Tafeln zur Vergleichung der gebräuchlichsten Gewichte.

1. Grösse verschiedener Gewichte.

Bezeichnung des Gewichtes.	Grösse in Grammen.	Andere Gewichte
Kilogramme (1)	1000	100 Kilogr. = 1 metr.
Baiern. Handelspfund = 32 Loth . . .	560	100 Pfd. = 1 Ctr.
Bremen. Handelspfund = 32 Loth . .	498,500	116 Pfd. = 1 Ctr.
Dänemark u. Norwegen. Handelspfd. = 32 Loth	499,309	100 Pfd. = 1 Ctr.
England. Troy - Pfund (3)	373,244	
Avoir du poids, Pfund Handelsgew.	453,595	112 Pfd. = 1 Ctr.
Frankfurt. Pfd. Leichtgew. = 32 Loth	467,914	105 Pfd. = 100 Pfd. St gew. = 1 Ctr.
Frankreich. Altes Pfd. (poids de marc)	489,506	
Neues Pfund (livre usuelle) = 16 Unzen (2)	500,000	
Hamburg. Handelspfd. = 32 Loth . .	484,170	112 Pfd. = 1 Ctr.; = 1 Liespfund.
Lübeck. Handelspfd. = 32 Loth . . .	484,725	
Nassau. Pfund = 32 Loth	470,686	106 Pfd. = 1 Ctr.
Oestreich. Wiener Handelspfd. = 32 L.	560,012	100 Pfd. = 1 Ctr.
Oldenburg. Handelspfd. = 32 Loth . .	480,367	100 Pfd. = 1 Ctr.
Preussen. Handelspfd. = 32 Loth (4)	467,711	110 Pfd. = 1 Ctr.
Altes Kölner Pfund zu 2 Mark . . .	167,626	
Russland. Handelspfd. = 32 Loth . .	109,520	10 Pfd. = 1 Pud.
Schweden. Schal - oder Victualienpfd. = 32 Loth	425,340	120 Pfd. = 1 Ctr. 100 Pfd. = 20 Liespf Schiffspf.

Anmerkungen: 1) Das Kilogramme ist das Gewicht von 1 Litre von 1^o Temperatur.

1 Kilogramme = 10 Hectogramme = 100 Decagramme = 1000 Gramme

Das Gramme, das Gewicht von 1 C. C. Wasser, ist wieder in 10 Dec = 100 Centigramme = 1000 Milligramme getheilt.

Dieses Gewichtssystem ist auch in den Niederlanden, in Belgie der Lombardei gesetzlich eingeführt.

2) Das halbe Kilogramme, oder 500 Gramme, gilt als gesetzliche Einheit auch an den Grenzen des deutschen Zollvereins, im Großogthum Hessen, in Sachsen, Baden und der Schweiz. Es ist in = 125 Quentchen getheilt, und 100 dieser Zollpfunde, oder hessische sächsische, oder badische, oder schweizer Pfunde, bilden den Centne

Da die darmstädter Maas = 2 Litres, so folgt, dass 1 darmstädter S Wasser = 1 darmstädter Pfund.

1 darmstädter C. F. = 1000 C. Z. = $\frac{1000}{61}$ Litre = $\frac{1000}{32}$ darmstädter Scho

folglich 1 darmstädter C. Z. = $\frac{1}{32}$ Schoppen oder 1 C. Z. Wasser = = 15,625 Gramme.

Troy-Pfund ist in 12 Unzen (ounze) oder 240 Pfenniggewichte (light) oder 5760 Gran (grains) getheilt.

Verhältnissen zwischen Maass und Gewicht sind in England gesetzlich so festgesetzt, dass 1 engl. K. Z. reines Wasser von 62° F. 250,458 engl. Gran = 1 Pfund avoirdupois wiegen soll.

Das **preussische Pfund** ist in 16 Unzen, oder wieder in 16 Drachmen getheilt.

Grösse des preussischen Pfundes ist in der Art festgesetzt, dass 1 K. F. Wasser von 16°,25 C. gerade 66 Pfund wiegen soll.

Das **alte kölnische Pfund**, oder das demselben fast gleichkommende alte kölnische Pfund, ist gegenwärtig auch im Kurfürstenthum Hessen, in Hannover, in Thüringen, den thüringischen Staaten, Württemberg und Frankland gebräuchlich.

32 Loth = 128 Quentchen = 576 Grän = 7680 Gran.

1 Loth = 4 Quentchen = 18 Grän = 240 Gran = 14,616 Grm.

2) Grösse verschiedener Medicinalgewichte.

Apothekergewicht hat überall eine gleiche Eintheilung, nämlich:

Pfund.	Unze.	Drachme.	Scrupel.	Gran.
1	12	96	288	5760
	1	8	24	480
		1	3	60
			1	20

Die absolute Grösse des Apothekerpfundes ist jedoch in verschiedenen Ländern nicht genau dieselbe.

Namen.	Grösse in Grammen.	1 Gramme beträgt in Gran dieser Gewichte
Preussischer Medicinalgewicht	357,854	16,096
(nach Hausschild)		
Preussisches, $\frac{1}{4}$ des Handelspfundes	375,000	15,360
Altes Troy-Pfund	373,244	15,131
Preussisches Mdpfd. = $\frac{1}{4}$ Hdlsfpfd.	420,009	13,714
Altes sächsisches Mdpfd. = $\frac{1}{4}$ Hdlsfpfd.	350,7836	16,122
Mdpfd.	360,000	
Mdpfd.	357,780	16,099
- Darmstadt. Mdpfd.	357,854	16,096
- Kassel. Mdpfd.	357,664	16,104
Frankfurt. Mdpfd.	357,854	16,096
Württemberg. Mdpfd.	357,647	16,105
Preussische Münze	375,000	15,360
Frankfurt.	357,669	16,104
Wien	356,437	16,160

3. Vergleichung einiger Gewichte unter einander.

Frankreich. Kilogramme.	Nachen, Baden, Hessen-Darmstadt, Schweiz. Zollpfund.	England. Pfd. avoirdupois.	Preussen, Hannover, Kürhessen, Braun- schweig, Weimarg, Württemberg. Pfund.	Baiern, Pfund.	Oestreich. Pfund.	Dänemark, Nor- wegen, Pfund.	Schweden. Schalpfund.
1	2,0000000	2,204597	2,138072	1,785714	1,785675	2,002768	2,351063
0,5000000	1	1,102299	1,069036	0,892571	0,892577	1,001384	1,175532
0,4535976	0,9071952	1	0,9698245	0,8099957	0,8099781	0,9084507	1,066437
0,4677110	0,9354220	1,031114	1	0,8351982	0,8351800	0,9367166	1,099618
0,5600000	1,120000	1,234874	1,197321	1	0,9999752	1,121550	1,316595
0,5600122	1,120024	1,234801	1,197347	1,000022	1	1,121574	1,316624
0,4993090	0,9986150	1,100775	1,067559	0,8916232	0,8916038	1	1,173907
0,1253395	0,8506790	0,9377023	0,9094066	0,7595348	0,7595183	0,8518563	1

III. Tafel. Specifiche Gewichte.

1. Feste Körper.

Körper.	Specificsches Gewicht.	Körper.	Specificsches Gewicht.
.....	2,590	Holz, lufttrocknes von	
.....	2,700	Eiche (Sommereiche)	0,650
.....	1,800	Erle	0,538
.....	1,100	Esche	0,670
.....	2,014—3,310	Guajak	1,342
(Mittelwerth)	2,500	Hainbuche (Weiss-	
.....	1,075	buche)	0,728
.....	0,914—1,647	Kiefer (pinus silve-	
.....	1,0—1,4	stris)	0,550
.....	0,942	Kork	0,240
.....	0,986	Lerche	0,563
.....	0,934	Linde	0,559
.....	2,670—3,500	Nussbaum	0,660
.....	3,440—3,550	Pappel	0,390
.....	0,916	Pflaumenbaum	0,872
.....	1,825	Pockholz	1,263
nicht, festge-		Rosskastanie	0,551
.....		Rothtanne (pinus pi-	
.....	2,060	cea)	0,481
.....	1,930	Steineiche (Winter-	
.....		eiche)	0,707
.....	2,58—2,63	Saalweide	0,529
.....	2,811	Ulme (Rüster)	0,568
.....	2,612	Holzkohle	0,280—0,440
.....	2,892	Jod	4,948
.....	2,370—2,560	Kalkstein (dichter)	2,700
.....	3,300	Kreide	1,8
.....	2,654—2,934	Lava	2,800
.....	2,540—3,063	Lehm, fetter, frisch	1,664
.....	2,250—2,410	— — — — — erhärtet	1,516
.....		Marmor	2,7—2,8
.....	1,500	Mauerwerk, von Ziegel-	
.....	0,645	steinen mit Kalkmör-	
.....	0,734	tel, frisch	1,554—1,700
.....	0,738	trocken	1,471—1,593
.....	0,732	— von Bruchsteinen,	
.....	0,750	frisch	2,460
.....	0,942	trocken	2,400
.....	0,575	Metalle:	
.....	1,210	Antimon	6,640
.....	1,187	Arsenik	5,672
.....	0,565	Barium	4,732
.....	0,744	Blei, gegossen	11,352
.....		— gepresst	11,388
.....		Chrom	5,900
.....		Eisen, geschmiedet	7,788

Körper.	Specificsches Gewicht.	Körper.	Specificsches Gewicht.
Metalle:		Metalle:	
Eisen - Guss (Roh-eisen)	7,207	Zinn	7,29
— Stahl, ungehärtet	7,833	Metall - Legirungen:	
gehärtet	7,816	Argentan	8,56
Guss-Stahl	7,919	Kanonenmetall	8,441—
Gold, gehämmert	19,362	Messing	7,600—
— gegossen	19,258	Pech, weisses	1,07
Iridium	15,863	Perlen	2,73
Kalium	0,865	Porzellan	2,31
Kobalt	8,513	Phosphor	1,77
Kupfer, gehämmert	8,878	Quarz	2,65
— gegossen	8,788	Sand, gemeiner, trok- ken	1,6
Molybdän	8,625	Sandstein	2,0—
Natrium	0,972	Selen	4,3
Nickel	8,477	Schwefel	2,0
Osmium	10,000	Schwerspath	4,5
Palladium	12,000	Saphir	3,9
Platin, schmiedbares	21,450	Smaragd	2,68—
Quecksilber bei 0°	13,598	Steinkohle	1,15—
— gefroren	15,612	Steinsalz	2,14—
Rhodium	11,000	Talg	0,9
Silber, gehämmert	10,511	Topas	3,5—
— gegossen	10,477	Wachs, weisses	0,9
Tellur	6,258	Wallrath	0,9
Titan	5,280	Weitzen	1,3
Wismuth	9,822	Ziegel (gebrannter)	1,4—
Wolfram	17,300	Zinnober	5,0
Zink	7,191	Zucker, weisser	1,6

2. Flüssigkeiten.

Namen.	Specificsches Gewicht.	Namen.	Specificsches Gewicht.
Aether (Schwefeläther) bei 12°,5 C.	0,733	Alkohol (Weingeist) bei 15° C. und bei einem Gehalte an absolutem Alkohol, in Volumprocenten:	
Alkohol (Weingeist) bei 15° C. und bei einem Gehalte an absolutem Alkohol, in Volumprocenten:		55	0,92
100	0,7947	50	0,93
95	0,8168	45	0,94
90	0,8346	40	0,95
85	0,8502	35	0,95
80	0,8645	10	0,96
75	0,8799	0 d. h. reines Wasser	1,00
70	0,8907	Brom	2,9
65	0,9027	Meerwasser	1,0
60	0,9141	Öle: Leinöl	0,9

Namen.	Specificsches Gewicht.	Namen.	Specificsches Gewicht.
Salzöl	0,929	Salzsäure, flüssige von 39,675 pCt. Chlorgeh.	1,200
Leinöl	0,915	35,310 " "	1,180
Isöl, gutes	0,914	29,757 " "	1,152
Quecksilber bei 0°	13,598	23,805 " "	1,120
Phosphorsäure bei einem halben an wasser-der Säure von 7,7 Procent	1,500	17,854 " "	1,090
Essig	1,479	Schwefelsäure, concentrirte	1,850
Alkohol	1,419	Wein	0,9—1,05
Äther	1,332	Wasser, chemisch rein und bei 16°,25 C.	1,000
Chloroform	1,221		
Carbonäthyläther	1,190		

Dichtigkeit und Volumen des Wassers bei verschiedenen Temperaturen zwischen 0° — 100° C.

(Aus Gehler physik. Wörterb. Bd. 10. S. 913.)

	Volum.	Dichtigkeit.	t	Volum.	Dichtigkeit.
9	1,000000	1,000000	30°	1,004216	0,995802
	0,999950	1,000050	31	1,004523	0,995198
	0,999915	1,000080	32	1,004831	0,995193
	0,999894	1,000106	33	1,005140	0,994887
	0,999882	1,000118	34	1,005449	0,994580
	0,999888	1,000112	35	1,005761	0,994272
	0,999897	1,000103	36	1,006106	0,993931
	0,999919	1,000081	37	1,006452	0,993489
	0,999956	1,000014	38	1,006799	0,993146
	0,999996	0,999994	39	1,007147	0,992802
	1,000069	0,999931	40	1,007496	0,992560
	1,000145	0,999855	41	1,007898	0,992180
	1,000235	0,999765	42	1,008207	0,991799
	1,000338	0,999662	43	1,008610	0,991418
	1,000453	0,999547	44	1,009021	0,991036
	1,000581	0,999419	45	1,009434	0,990654
	1,000720	0,999280	46	1,009859	0,990240
	1,000872	0,999128	47	1,010285	0,989825
	1,001035	0,998966	48	1,010712	0,989409
	1,001210	0,998791	49	1,011139	0,988992
1,001397	0,998605	50	1,011570	0,988563	
1,001594	0,998408	51	1,012033	0,988184	
1,001802	0,998201	52	1,012497	0,987704	
1,002022	0,997982	53	1,012962	0,987323	
1,002251	0,997754	54	1,013438	0,986911	
1,002491	0,997515	55	1,013894	0,986297	
1,002741	0,997267	56	1,014382	0,985813	
1,003001	0,997008	57	1,014891	0,985328	
1,003271	0,996740	58	1,015392	0,984812	
1,003549	0,996463	59	1,015894	0,984355	
1,003837	0,996178	60	1,016396	0,983867	

t	Volum.	Dichtigkeit.	t	Volum.	Dichtigkeit
61°	1,016930	0,983383	81°	1,025725	0,97207
62	1,017464	0,982898	82	1,029385	0,97145
63	1,018000	0,982412	83	1,030043	0,97083
64	1,018538	0,981925	84	1,030702	0,97021
65	1,019078	0,981480	85	1,031364	0,96959
66	1,019611	0,980736	86	1,032047	0,96895
67	1,020212	0,980191	87	1,032731	0,96830
68	1,020780	0,979645	88	1,033416	0,96766
69	1,021350	0,979099	89	1,034102	0,96702
70	1,021920	0,978550	90	1,034791	0,96637
71	1,022531	0,977979	91	1,035500	0,96571
72	1,023143	0,977407	92	1,036210	0,96506
73	1,023756	0,976834	93	1,036921	0,96441
74	1,024370	0,976260	94	1,037633	0,96377
75	1,024986	0,975685	95	1,038346	0,96310
76	1,025603	0,975089	96	1,039075	0,96243
77	1,026221	0,974492	97	1,039811	0,96177
78	1,026840	0,973894	98	1,040545	0,96110
79	1,027459	0,973295	99	1,041280	0,96043
80	1,028072	0,972695	100	1,042016	0,95976

Anmerkung. Das specifische Gewicht eines Körpers bezeichnet zu das absolute Gewicht eines Raumtheils seiner Masse, wenn das Gewicht Raumeinheit des Wassers als Gewichtseinheit angenommen ist. Z. B. ein Wasser = 1 Grm; 1 Litre Wasser = 1 Kilogramm. Daher ein K. C. Queck wiegt 13,598 Grm., ein Litre Quecksilber wiegt 13,598 Kilogramm.

Wo eine solche einfache Beziehung zwischen Maass und Gewicht nicht findet, muss man, um das Gewicht der kubischen Maasseinheit eines Körpers erhalten, sein specif. Gewicht multipliciren mit dem Gewichte der Maass des Wassers. Man hat in dieser Beziehung zu merken, dass

				Preuss. Pfunde.	gr
1 badischer K. F. Wasser bei 4° wiegt	54 bad. Pfde.	=	57,638	27	
1 bairischer „ „ bei 16°,25 „	44,395 bair. Pfde.	=	53,077	24	
1 darmstädter „ „ bei 4° „	31,250 darmst. Pf.	=	32,591	15	
1 englischer „ „ bei 16°,25 „	75,137 engl. Tr. Pf.	=	60,449	28	
1 hannöv. „ „ „ „	53,143 hannöv. Pf.	=	53,143	24	
1 kasseler „ „ „ „	50,840 kasseler Pf.	=	50,840	23	
	Leichtgewicht.				
1 österreichisch. „ „ „ „	56,377 wiener Pfd.	=	67,426	31	
1 pariser „ „ „ „	68,554 franz. Pfd.	=	73,174	34	
1 preussischer „ „ „ „	61,832 franz. Pfd.	=	66	30	
1 sächsischer „ „ „ „	45,166 sächs. Pfd.	=	48,213	22	
1 württemberg. „ „ „ „	50,200 würt. Pfd.	=	50,200	23	

3. Gasförmige Körper und Dämpfe,
 bei Temperatur von 0° und 336,9 pariser Linien Druck reducirt.

<i>Namen.</i>	<i>Specificsches Gewicht.</i>	
	<i>Luft = 1</i>	<i>Wasser = 10</i>
.....	10,3654	13,4657
ampf	2,5830	3,3556
ampf	1,6010	2,0799
pf	5,3930	7,0060
.....	2,4403	3,1702
erstoff	1,2544	1,6296
.....	1,8120	2,3540
.....	8,7011	11,3036
fgas	0,8364	1,0866
rd	0,9695	1,2595
re	1,5208	1,9757
asserstoff (oelbildendes Gas)	0,9740	1,2653
.....	1	1,2991
ampf	4,3256	5,6194
erdampf	6,9785	9,0658
.....	1,1026	1,4324
ampf	6,6542	8,6445
Säure	2,2116	2,8731
asserstoff	1,1778	1,5301
.....	0,9760	1,2675
oxydul	1,5273	1,9841
oxyd	1,0393	1,3502
ampf	0,6201	0,80557
if	0,0688	0,08938

vollständige Tabelle über die spec. Gew. der Gase und Dämpfe findet man in P 424. Spalte V enthält die berechneten Werthe.

afel. Ueber die Ausdehnung der Körper durch die Wärme.

Längenausdehnung fester Körper.

<i>Körper.</i>	<i>Verlängerung von 0° bis 100° C.</i>		<i>Körper.</i>	<i>Verlängerung von 0° bis 100° C.</i>	
.....	0,002848	1/351	Platin	0,000856	1/11
chmiedet ..	0,001167	1/856	Sandstein	0,001174	1/8
sen	0,001110	1/901	Silber	0,001909	1/5
ses	0,000861	1/1161	Stahl, gehärtet ..	0,001225	1/8
.....	0,001552	1/645	— weich	0,001079	1/9
1 Zink und	0,002058	1/185	Weichloth, 1 Zinn u.	0,002505	1/3
.....			2 Blei		
nenholz) in	0,000380	1/2631	Zink, gewalzt.	0,003331	1/3
tung der Fa-			— gegossen .....			0,002987	1/3
.....	0,002505	1/399	Zinkloth, 1 Zinn u.	0,002058	1/4
oth	0,001717	1/582	2 Kupfer		
on Carrara ..	0,000849	1/1178	Zinn	0,002173	1/4
.....	0,001920	1/521	Ziegeln	0,000500	1/20

perimentalphysik.

Bezeichnet l die Länge eines Körpers bei der Temperatur t° ; l' d desselben Körperes bei t'° ; α den Ausdehnungs-Coefficienten des Stoffes nämlich $\frac{1}{100}$ der Verlängerung von 0° — 100° , so findet man

$$l' = \frac{l(1 + \alpha t')}{1 + \alpha t}$$

Körperliche Ausdehnung des gewöhnlichen weissen Gla: Glasröhren und Thermometer.

	Mittlere Vergrößerung des Volums bei 0° Temperatur-Erhöhung.		
	nach Dulong u. Petit.	nach Magnus.	
zwischen 0 — 100°	0,00002584	0,00002618	0,00
" 0 — 200°	0,00002768	0,00003027	0,00
" 0 — 300°	0,00003032	0,00003032	0,00

Ausdehnung des Quecksilbers für 1° Temperatur-Erhö

	Wahre Ausdehnung.	Scheinbare Au in Glasgef
zwischen 0 — 100°	$\frac{1}{1000} = 0,000180180$	$\frac{1}{6400}$
" 0 — 200°	$\frac{1}{555} = 0,000184331$	$\frac{1}{5370}$
" 0 — 300°	$\frac{1}{1000} = 0,000188679$	$\frac{1}{6310}$

Zur Berechnung der Ausdehnung zwischen -30° bis 130° kann der Formel bedienen $V' = \frac{5550 + t' V}{5550 + t}$

Wahre Ausdehnung gasförmiger Körper für 1° Tempe Erhöhung. (Nach Beobachtungen in Glasgefassen)

	Unter atmosphärischem Drucke. (Magnus, Regnault.)	Unter einem D 3,5 Atmosph (Regnau)
Atmosphärische Luft . .	0,003665 = $\frac{1}{273}$	0,0036
Wasserstoff	0,003661	0,0036
Kohlendioxydul	0,003669	
Kohlensäure	0,003690	0,0038
Stickstoffoxydul	0,003720	
Cyan	0,003877	
Schweflige Säure	0,003880	

Formel zur Bestimmung des Luftvolums V' bei der Temperatur das Volum V bei t° gegeben ist:

$$V' = \frac{1 + 0,003665 t'}{1 + 0,003665 t} V = \frac{273 + t'}{273 + t} V.$$

Tafel. Specifische Wärme der Körper, bezogen auf die des Wassers zwischen 0—20°.

1. Feste Körper.

Namen.	Specifische Wärme. 0—100°	Namen.	Specifische Wärme. 0—100°
ystall	0,1894	Messing	0,0939
.	0,0314	Phosphor zwischen 10—30°	0,1887
.	0,9000	„ „ 0—100°	0,2514
.	0,1138	Platin zwischen 0—100°	0,03350
cyd (Colcothar)		„ „ 0—200	0,03392
üsch rein, pulver-		„ „ 0—300	0,03434
nig	0,1737	„ „ 0—400	0,03476
h Glühen zusammen-		„ „ 0—500	0,03518
intert	0,1681	„ „ 0—600	0,03560
lanz	0,1667	„ „ 0—700	0,03602
.	0,1770	„ „ 0—800	0,03644
.	0,0324	„ „ 0—900	0,03686
sen	0,1298	„ „ 0—1000	0,03728
.	0,5	„ „ 0—1100	0,03770
gebrannt	0,2170	„ „ 0—1200	0,03812
ath	0,2046	„ „ 0—1300	0,03854
er Marmor	0,2128	„ „ 0—1400	0,03896
.	0,2148	„ „ 0—1500	0,03938
		„ „ 0—1600	0,03980
kohle	0,2415	Rose'sches Metall	0,0338
.	0,2031	Schwefel	0,2000
kohle	0,2009	Silber 0—100°	0,0557
racit	0,2010	„ 0—300°	0,0611
hit	0,2027	Stahl	0,1185
ant	0,1469	Steingut	0,1190
, ausgeglüht, ge-		Thon, gebrannt	0,1850
eidig	0,0950	Zink	0,0956
kalt, gehämmert	0,0935	Zinn	0,0562
nach dem Hämmern			
eglüht	0,0950		

2. Flüssige Körper.

Namen.	Specifische Wärme. 0—100°	Namen.	Specifische Wärme. 0—100°
il	0,5040	Schwefelkohlenstoff	0,3290
ilber 0—100°	0,0333	Terpenthinöl	0,1259
0—300°	0,0350	Wasser 0—20°	1
elsäure, concentrirte	0,3490	„ 0—100°	1,0127
eläther	0,5500		

3. Gasförmige Körper.

Namen.	Specifische Wärme.		
	gleicher Volume.	gleicher Gewichte.	
		Luft = 1.	Wasser =
Atmosphärische Luft . . .	1	1	0,2669
Sauerstoff	1	0,9069	0,2121
Wasserstoff	1	14,5349	3,8793
Stickstoff	1	1,0318	0,2754
Kohlenoxyd	1	1,0267	0,2740
Stickstoffoxydul	1,227	0,8035	0,2145
Kohlensäure	1,249	0,8195	0,2187
Oelbildendes Gas	1,754	1,7898	0,4777
Wasserdampf	1,960	3,1360	0,8370

VI. Tafel. Specifische Wärme der Atome.

Einfache Stoffe.	Specifische Wärme gleicher Gewichte. Wasser = 1000.	Atomgewichte.	Wärmecapazität des Atoms.	Wärmecapazität von Schwefel
Schwefel	188	201	37788	1
Selen	83,7	495	41430	1
Tellur	51,6	802	41383	1
Jod	54	790	42660	1
Brom	135	489	66015	1/2
Phosphor	189	196	37044	1
Arsenik	81	470	38070	1
Kohlenstoff	241	76	18316	1/2
Platin	33,5	1234	41339	1
Palladium	59	666	39294	1
Iridium (unrein)	36,8	1234	45428	1
Gold	29,8	1243	37042	1
Silber	55,7	1352	75306	2
Quecksilber	33	1266	41778	1
Kupfer	95	396	37620	1
Blei	29,8	1295	37928	1
Zinn	51,4	735	37779	1
Antimon	51	806	41106	1
Wismuth	28,8	887	25546	1/2
Kadmium	57	697	39729	1
Kobalt	107	369	39453	1
Nickel	108	370	39900	1
Eisen	110	339	37290	1
Mangan-(kohlenhaltig)	144	346	49848	1
Zink	96	403	38658	1
Molybdän	66	599	39534	1
Wolfram	35	1183	41405	1

bindungen.	Specifische Wärmegleicher Gewichte. Wasser = 1000.	Atomgewichte	Wärmecapaci- tät des Atoms.	Wärmeci- filität von Schwefel
Verbindungen:				
+ 1 At. Zinn	40,73	2030	82680	2
+ 2 At. Zinn	45,06	2765	124590	3
+ 1 At. Antimon . . .	38,80	2101	81520	2
muth + 2 At. Zinn	45,04	2358	126150	3
1. O.				
oxyd	51,18	1394,5	71340	
peroxyd	51,79	1365,8	70740	
oxydul	157,01	445,9	70010	
oxyd	142,01	495,7	70390	
oxydul	158,85	469,6	74600	
oxyde	243,94	258,4	63030	
oxydul	124,80	503,2	62770	
oxyd	217,00	356	77200	
2. O₂.				
oxyd	168	978,4	164440	
oxydul	61,6	2889	177900	
oxyd	179,6	1003,6	180010	
oxyd (Sapphir)	217,3	642,4	139610	
Säure	127,8	1240,1	158560	
3. Metalle. R. S.				
bleisen	135,7	540,4	73330	
bleinickel	128,1	570,8	73150	
bleikobalt	125,1	570,0	71340	
bleizink	123,0	604,4	74350	
bleiblei	50,8	1495,6	76000	
bleizinn	83,7	936,5	78340	
bleiquecksilber	51,2	1467,0	75060	
bleiarсенik (Realg.) . .	111,1	671	74550	
4. Metalle. R₂. S₃.				
bleiantimon	84,0	2216,4	186210	
bleiwismuth	60,0	3264,2	195900	
5. Metalle. R. S₂.				
bleisen (Eisenkies) . .	130	741,6	96450	
bleizinn	119,3	1137,7	135660	
bleimolybdän	123,3	1001	123460	
6. Metalle. R₃. S.				
bleikupfer (halb) . . .	121,2	992	120210	
bleisilber	74,6	1553	115860	
7. Salze. R₃. Cl₃.				
bleitrium	214	733,5	156970	
bleilithium	173	932,5	161190	
bleiberchlorür	32	2974,2	154800	

Verbindungen.	Specifische Wärme gleicher Gewichte. Wasser = 1000.	Atomgewichte.	Wärmecapaci- tät des Atoms.
Haloidsalze. R₂. Cl₂.			
Kupferchlorür	138,3	1234,0	156830
Chlorsilber	91,1	1794,1	163420
Bromkalium	113,2	1468,2	166210
Bromsilber	73,9	2330,0	173310
Jodkalium	81,9	2068,2	169380
Quecksilberjodür	39,5	4109,3	162340
Haloidsalze. R. Cl₂.			
Chlorbarium	89,6	1299,5	116440
Chlorcalcium	164,2	698,6	114720
Chlorblei	66,4	1737,1	115350
Zinnchlorür	101,6	1177,9	119590
Chlorzink	136,2	845,8	115210
Bromblei	53,3	2272,8	121000
Jodblei	42,7	2872,8	122540
Fluorcalcium	214,9	489,8	105310
Schwefelsaure Salze. R. S O₄.			
Schwefelsaurer Baryt	112,9	1458,1	164540
„ Kalk	196,6	857,2	168490
Schwefelsaure Bittererde	221,6	759,5	168300
Schwefelsaures Bleioxyd	87,2	1895,7	165390
Kohlensaure Salze. R. O. C O₂.			
Kalkspath	208,6	631	131610
Kohlensaurer Baryt	110,4	1231,9	135990
Kohlensaures Eisenoxydul	193,5	714,2	138160
Weissbleierz	81,4	1671	136000

VII. Tafel. Schmelzpunkt einiger Körper.

Körper.	Schmelzpunkt.	Körper.	Schmelzpunkt.
Silber	— 40°,5 C.	Schwefel	111° C.
„	— 25°	Zinn	223
„	0	Blei	262
„	+ 32	Wismuth	265
„	+ 42,8	Zink	374
„	61,5	Antimon	513
„	58	Silber, ungefähr	1000
„	90	Gold, ungefähr	1200
„		Weisses Gusseisen	1050—1100
„		Graues Gusseisen	1100—1200
„	95	Stahl	1300—1400
„	102	Eisen	1500—1600
„	107		

III. Tafel. Siedpunkte einiger Körper unter 336,9^{mm} Druck.

Körper.	Siedpunkt.	Körper.	Siedpunkt.
Äthylische Säure	— 10°	Terpenthinöl	156°
„	+ 21°,8	Jod	176
„	26,5	Phosphor	258
„	35,66	Schwefel	316
„	46,6	Leinöl	316
„	47	Schwefelsäure (concentrirte)	325
„	78,4	Quecksilber	360°
„	85		des Quecksilberthermomet.
„	100		
„	104		

IX. Tafel. Kälte erregende Mischungen.

Mischungen.	Die Temperatur	
	von	zu
1 Theil Wasser mit 1 Theil salpetersaurem Ammoniak	+ 10°	-15'
32 Theile Wasser mit 11 Th. Salmiak, 10 Th. Salpeter und 16 Th. krystallisirtem Glaubersalz	+ 12	-1
Gleiche Theile verdünnte Schwefelsäure (1 Th. Säure mit 1 Th. Wasser) und Glaubersalz	+ 10	-1
5 Theile Salzsäure, 8 Th. Glaubersalz	+ 13	-1
Gleiche Theile Schnee und verdünnte Salpetersäure .	-18	-1
Gleiche Theile Schnee und verdünnte Schwefelsäure .	-7	-1
8 Theile Schnee mit 10 Th. verdünnter Schwefelsäure	-50	-1
1 Theil Schnee mit $\frac{1}{2}$ verdünnter Schwefelsäure (aus 4 Theile concentrirter Säure und 1 Th. Wasser gemischt)	0	-1
Gleiche Theile Schnee und Kochsalz	0	-1
Gleiche Theile Schnee und krystallisirter salzsaurer Kalk	0	-1
1 Theil Schnee mit 2 Th. salzsaurem Kalk	-17,5	-1

Anmerkung: Alle Wärmeverhältnisse in den vorstehenden Tabellen ziehen sich auf Grade der hunderttheiligen Scala. Häufig ist es erforderlich, die Grade des Celsius'schen Thermometers in Grade Réaumur oder Fahrenheit auszudrücken, oder umgekehrt die letzteren in erstere zu wandeln. Hierzu kann man sich der folgenden sechs Reductionsformeln bedienen.

$$\begin{aligned}
 1) R^{\circ} &= \frac{8 C^{\circ}}{10} & ; & & 2) C^{\circ} &= \frac{10R}{8} \\
 3) F^{\circ} &= 1,8 C^{\circ} + 32 & ; & & 4) C^{\circ} &= \frac{(F^{\circ} - 32) 5}{9} \\
 5) F^{\circ} &= \frac{9R^{\circ}}{4} + 32 & ; & & 6) R^{\circ} &= \frac{(F^{\circ} - 32) 4}{9}
 \end{aligned}$$

**Tafel. Reduction der Aräometergrade von Beaumé.
Cartier und Beck auf specifische Gewichte.**

1. Für Flüssigkeiten schwerer als Wasser.

de.	Beaumé.	Beck.	Grade.	Beaumé.	Beck.	Grade.	Beaumé.	Beck.
1	1,000	1,0000	26	1,221	1,1806	52	1,566	1,4407
2	1,007	1,0059	27	1,231	1,1858	53	1,583	1,4530
3	1,014	1,0119	28	1,242	1,1912	54	1,601	1,4655
4	1,022	1,0180	29	1,252	1,2057	55	1,618	1,4783
5	1,029	1,0241	30	1,261	1,2143	56	1,638	1,4912
6	1,036	1,0303	31	1,275	1,2230	57	1,659	1,5044
7	1,044	1,0366	32	1,286	1,2319	58	1,678	1,5179
8	1,052	1,0429	33	1,298	1,2409	59	1,698	1,5315
9	1,060	1,0494	34	1,309	1,2500	60	1,718	1,5454
0	1,067	1,0559	35	1,321	1,2593	61	1,739	1,5596
1	1,075	1,0625	36	1,334	1,2687	62	1,760	1,5741
2	1,083	1,0692	37	1,346	1,2782	63	1,782	1,5888
3	1,091	1,0759	38	1,359	1,2879	64	1,804	1,6038
4	1,100	1,0828	39	1,372	1,2977	65	1,827	1,6190
5	1,106	1,0897	40	1,384	1,3077	66	1,850	1,6346
6	1,116	1,0968	41	1,398	1,3178	67	1,874	1,6505
7	1,125	1,1039	42	1,412	1,3281	68	1,898	1,6667
8	1,134	1,1111	43	1,426	1,3386	69	1,922	1,6832
9	1,143	1,1184	44	1,440	1,3492	70	1,947	1,7000
0	1,152	1,1258	45	1,454	1,3600	71	1,973	1,7172
1	1,162	1,1333	46	1,470	1,3710	72	2,000	1,7347
2	1,171	1,1409	47	1,485	1,3821	73		1,7526
3	1,180	1,1489	48	1,501	1,3934	74		1,7708
4	1,190	1,1565	49	1,516	1,4050	75		1,7895
5	1,199	1,1644	50	1,532	1,4167	76		1,8085
6	1,210	1,1724	51	1,549	1,4286			

2. FOR FLOORS: KICKER TO JOIST OR RIM W/BRIST.

Grade.	Beammé.	Cartier.	Beck.	Grade.	Beammé.	Cartier.	Beck.	Grade.	Beammé.	Cartier.	Beck.
0	1,0000	. . . .	1,0000	24	0,909	0,908	0,8762	48	0,787	. . . .	0,7500
1	0,9941	. . . .	0,9883	25	0,903	0,901	0,8717	49	0,782	. . . .	0,74763
2	. . . .	. . . .	0,9826	26	0,898	0,895	0,8673	50	0,778	. . . .	0,7427
3	. . . .	. . . .	0,9770	27	0,892	0,889	0,8629	51	0,773	. . . .	0,7392
4	. . . .	. . . .	0,9714	28	0,886	0,883	0,8565	52	0,769	. . . .	0,7358
5	. . . .	. . . .	0,9659	29	0,881	0,877	0,8512	53	0,765	. . . .	0,7323
6	. . . .	. . . .	0,9604	30	0,875	0,871	0,8500	54	0,760	. . . .	0,7289
7	. . . .	. . . .	0,9550	31	0,870	0,865	0,8457	55	0,756	. . . .	0,7256
8	. . . .	. . . .	0,9497	32	0,864	0,859	0,8415	56	0,752	. . . .	0,7222
9	1,000	. . . .	0,9444	33	0,859	0,853	0,8374	57	0,748	. . . .	0,7189
10	0,993	. . . .	0,9392	34	0,854	0,848	0,8333	58	0,744	. . . .	0,7156
11	0,986	. . . .	0,9340	35	0,849	0,842	0,8292	59	0,739	. . . .	0,7123
12	0,979	. . . .	0,9289	36	0,844	0,837	0,8252	60	0,735	. . . .	0,7091
13	0,972	. . . .	0,9239	37	0,838	0,831	0,8212				
14	0,966	. . . .	0,9189	38	0,833	0,826	0,8173				
15	0,959	. . . .	0,9139	39	0,829	0,821	0,8133				
16	0,952	. . . .	0,9090	40	0,824	0,815	0,8095				
17	0,946	. . . .	0,9042	41	0,819	0,810	0,8061				
18	0,940	. . . .	0,8994	42	0,814	0,805	0,8018				
19	0,933	. . . .	0,8947	43	0,809	0,800	0,7981				
20	0,927	. . . .	0,8900	44	0,802	0,7934	0,7934				
21	0,921	. . . .	0,8854	45	0,800	0,7907	0,7907				
22	0,915	. . . .	0,8808	46	0,796	0,7871	0,7871				
23		. . . .		47	0,791	0,7834	0,7834				

XI. Tafel. Zur Alkoholometrie.

No. 1.

ist den Alkoholgehalt in Procenten vom Volume einer weingeistigen Flüssigkeit wenn diese bei 60° Fahrh. = 12°,5 R. = 15°,55 C. das in der zweiten angegebene spec. Gewicht besitzt. Das spec. Gewicht des Wassers in der Dichte seiner grössten Dichte zu 10000 vorausgesetzt, wodurch es sich bei 9991 verwandelt.

Weingeist specif. Gewicht bei 60° F.	Unterschiede.	Alkoholgehalt Volumprocente	Weingeist specif. Gewicht bei 60° F.	Unterschiede.	Alkoholgehalt Volumprocente	Weingeist specif. Gewicht bei 60° F.	Unterschiede.
9991	15	34	9596	13	68	8941	24
9976	15	35	9583	13	69	8917	24
9961	14	36	9570	13	70	8892	25
9947	14	37	9556	14	71	8867	25
9933	14	38	9541	15	72	8842	25
9919	13	39	9526	15	73	8817	25
9906	13	40	9510	16	74	8791	26
9893	12	41	9494	16	75	8765	26
9881	12	42	9478	16	76	8739	26
9869	12	43	9461	17	77	8712	27
9857	12	44	9444	17	78	8685	27
9845	11	45	9427	17	79	8658	27
9834	11	46	9409	18	80	8631	27
9823	11	47	9391	18	81	8603	28
9812	10	48	9373	18	82	8575	28
9802	11	49	9354	19	83	8547	28
9791	10	50	9335	19	84	8518	29
9781	10	51	9315	20	85	8488	30
9771	10	52	9295	20	86	8458	30
9761	10	53	9275	20	87	8428	30
9751	10	54	9254	21	88	8397	31
9741	10	55	9234	20	89	8365	32
9731	11	56	9213	21	90	8332	33
9720	10	57	9192	22	91	8299	33
9710	10	58	9170	22	92	8265	34
9700	11	59	9148	22	93	8230	35
9689	10	60	9126	22	94	8194	36
9679	11	61	9104	22	95	8157	37
9668	11	62	9082	22	96	8118	39
9657	11	63	9059	23	97	8077	41
9646	12	64	9036	23	98	8034	43
9634	12	65	9013	23	99	7988	46
9622	13	66	8989	24	100	7939	49
9609	13	67	8965	24			

No. 2.

100 Maas Weingeist, dessen scheinbares spec. Gewicht, durch gefäss bestimmt, bei nachstehenden Graden Fahrh. die angegeben besitzt, würden auf 60° F. abgekühlt oder erwärmt, an Alkohol von Gewicht und 60° F. enthalten.

Maase Alkohol.	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°
0	9994	9997	9997	9998	9997	9994	9991	9987	9981	9976
5	9924	9926	9926	9926	9925	9922	9919	9915	9909	9903
10	9868	9869	9868	9867	9865	9861	9857	9852	9845	9839
15	9823	9822	9820	9817	9813	9807	9802	9796	9788	9779
20	9786	9782	9777	9772	9766	9759	9751	9743	9733	9723
25	9752	9745	9737	9729	9720	9709	9700	9690	9678	9666
30	9715	9705	9694	9683	9671	9658	9646	9633	9619	9605
35	9668	9655	9641	9627	9612	9598	9583	9567	9551	9535
40	9609	9594	9577	9560	9544	9527	9510	9463	9474	9456
45	9535	9518	9500	9482	9464	9445	9427	9408	9388	9369
50	9449	9431	9413	9393	9374	9354	9335	9315	9294	9274
55	9354	9335	9316	9295	9275	9254	9234	9213	9192	9171
60	9249	9230	9210	9189	9168	9147	9126	9105	9083	9061
65	9140	9120	9099	9078	9056	9034	9013	8992	8969	8947
70	9021	9001	8980	8958	8936	8913	8892	8870	8847	8825
75	8896	8875	8854	8832	8810	8787	8765	8743	8720	8697
80	8764	8743	8721	8699	8676	8653	8631	8609	8585	8562
85	8623	8601	8579	8556	8533	8510	8488	8465	8441	8418
90	8469	8446	8423	8401	8379	8355	8332	8309	8285	8262

No. 3.

**Maas Weingeist, dessen scheinbares spezifisches Gewicht, durch ein
Iss bestimmt, bei nachstehenden Temperaturen Fahrh. die angegebenen
besitzt, enthalten bei denselben Temperaturen an Alkohol von
e. Gewicht und 60° F.**

se iol.	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°
9994	9997	9997	9998	9997	9994	9991	9987	9981	9976	9970	9962	
9924	9926	9926	9926	9925	9922	9919	9915	9909	9903	9897	9889	
9868	9869	9868	9867	9865	9861	9857	9852	9845	9839	9831	9823	
9823	9822	9820	9817	9813	9807	9802	9796	9788	9779	9771	9761	
9786	9782	9777	9772	9766	9759	9751	9743	9733	9722	9711	9700	
9753	9746	9738	9729	9720	9709	9700	9690	9678	9665	9652	9638	
9717	9707	9695	9684	9672	9659	9646	9632	9618	9603	9588	9572	
9671	9658	9644	9629	9614	9599	9583	9566	9549	9532	9514	9495	
9615	9598	9581	9563	9546	9528	9510	9491	9472	9452	9433	9412	
9544	9525	9506	9486	9467	9447	9427	9406	9385	9364	9342	9320	
9460	9440	9420	9399	9378	9356	9335	9313	9290	9267	9244	9221	
9368	9347	9325	9302	9279	9256	9234	9211	9187	9163	9139	9114	
9267	9245	9222	9198	9174	9150	9126	9102	9076	9051	9026	9000	
9162	9138	9113	9088	9063	9038	9013	8988	8962	8936	8909	8882	
9046	9021	8996	8970	8944	8917	8892	8866	8839	8812	8784	8756	
8925	8899	8873	8847	8820	8792	8765	8738	8710	8681	8652	8622	
8798	8771	8744	8716	8688	8659	8631	8602	8573	8544	8514	8483	
8663	8635	8606	8577	8547	8517	8488	8458	8427	8396	8365	8333	
8517	8486	8455	8425	8395	8363	8332	8300	8268	8236	8204	8171	

Temperatur abgeleitet, aber in der mit dieser Temperatur überschrieben

7939

Temperatur

Wahre Volum-proc.	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°
10	9,1	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6	9,8
11	9,9	10,0	10,1	10,2	10,3	10,4	10,5	10,7
12	10,8	10,9	11,0	11,1	11,2	11,3	11,5	11,7
13	11,7	11,8	11,9	12,0	12,1	12,3	12,5	12,6
14	12,6	12,7	12,8	12,9	13,0	13,2	13,4	13,6
15	13,4	13,5	13,6	13,8	13,9	14,2	14,4	14,6
16	14,2	14,4	14,6	14,7	14,9	15,1	15,4	15,6
17	15,1	15,3	15,5	15,6	15,8	16,0	16,3	16,6
18	15,9	16,1	16,3	16,5	16,7	17,0	17,3	17,5
19	16,7	16,9	17,2	17,4	17,6	17,9	18,2	18,5
20	17,5	17,8	18,0	18,3	18,5	18,8	19,2	19,5
21	18,3	18,6	18,9	19,1	19,4	19,9	20,1	20,4
22	19,1	19,4	19,7	20,0	20,3	20,7	21,0	21,4
23	19,9	20,2	20,6	20,9	21,2	21,6	22,0	22,3
24	20,7	21,0	21,4	21,8	22,1	22,5	22,9	23,3
25	21,6	22,0	22,3	22,7	23,0	23,5	23,9	24,3
26	22,4	22,7	23,1	23,6	23,9	24,5	24,8	25,3
27	23,1	23,6	24,0	24,5	24,9	25,4	25,8	26,3
28	24,0	24,5	24,9	25,4	25,8	26,3	26,8	27,3
29	24,9	25,4	25,9	26,3	26,8	27,3	27,8	28,2
30	25,7	26,2	26,8	27,2	27,7	28,2	28,7	29,2
31	26,7	27,2	27,8	28,2	28,7	29,2	29,7	30,2
32	27,7	28,2	28,8	29,3	29,8	30,3	30,8	31,3
33	28,7	29,2	29,8	30,3	30,8	31,3	31,8	32,3
34	29,7	30,2	30,8	31,3	31,8	32,3	32,8	33,3
35	30,7	31,2	31,8	32,3	33,0	33,3	33,8	34,3
36	31,7	32,2	32,8	33,3	33,8	34,3	34,8	35,3
37	32,7	33,2	33,8	34,3	34,8	35,3	35,8	36,3
38	33,6	34,2	34,8	35,3	35,8	36,3	36,8	37,3
39	34,6	35,2	35,8	36,3	36,8	37,3	37,8	38,3
40	35,7	36,2	36,8	37,3	37,8	38,3	38,8	39,3
41	36,7	37,2	37,7	38,3	38,8	39,3	39,8	40,3
42	37,7	38,2	38,7	39,3	39,8	40,3	40,8	41,3
43	38,8	39,3	39,8	40,3	40,8	41,3	41,8	42,3
44	39,8	40,3	40,8	41,3	41,8	42,3	42,8	43,3
45	40,9	41,4	41,8	42,4	42,8	43,3	43,8	44,3
46	41,9	42,4	42,9	43,4	43,8	44,3	44,8	45,3
47	42,9	43,4	43,9	44,4	44,9	45,4	45,8	46,3
48	43,9	44,4	44,9	45,4	45,9	46,4	46,8	47,3
49	45,0	45,5	45,9	46,4	46,9	47,4	47,8	48,3
50	46,0	46,5	47,0	47,5	48,0	48,4	48,9	49,3
51	47,0	47,5	48,0	48,5	49,0	49,4	49,9	50,3
52	48,1	48,6	49,0	49,5	50,0	50,4	50,9	51,3
53	49,1	49,6	50,0	50,5	51,0	51,4	51,9	52,3

gewichte bei nachstehenden Graden Réaumur, ohne Berücksichtigung der oben ist, würden auf 12°5 R. abgekühlt oder erwärmt, an Alkohol von 12°5 R. enthalten.

Temperatur 5 R.	Temperatur								Wahre Volum- proc.
	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	
8,1	10,1	10,3	10,5	10,8	11,0	11,3	11,5	11,8	10
8,9	11,1	11,3	11,6	11,8	12,1	12,4	12,6	12,9	11
9,7	12,1	12,4	12,6	12,9	13,2	13,5	13,7	14,0	12
10,5	13,1	13,4	13,6	13,9	14,2	14,6	14,9	15,2	13
11,3	14,1	14,4	14,7	15,0	15,3	15,6	16,0	16,3	14
12,1	15,2	15,5	15,8	16,0	16,4	16,8	17,1	17,5	15
12,9	16,1	16,5	16,8	17,1	17,5	17,9	18,3	18,7	16
13,8	17,2	17,5	17,9	18,2	18,6	19,0	19,5	19,9	17
14,7	18,2	18,6	18,9	19,3	19,7	20,1	20,6	21,0	18
15,5	19,2	19,6	20,0	20,4	20,8	21,2	21,7	22,1	19
16,3	20,2	20,6	21,0	21,4	21,8	22,3	22,8	23,1	20
17,2	21,2	21,6	22,0	22,4	22,9	23,3	23,8	24,2	21
18,0	22,2	22,6	23,0	23,4	23,9	24,3	24,8	25,3	22
18,9	23,2	23,6	24,0	24,5	25,0	25,4	25,9	26,4	23
19,6	24,2	24,6	25,1	25,5	26,0	26,5	27,0	27,5	24
20,5	25,3	25,7	26,1	26,6	27,1	27,6	28,1	28,6	25
21,4	26,2	26,7	27,1	27,6	28,2	28,7	29,2	29,7	26
22,1	27,2	27,7	28,1	28,6	29,2	29,7	30,2	30,7	27
22,9	28,3	28,7	29,2	29,7	30,2	30,7	31,2	31,8	28
23,8	29,2	29,7	30,2	30,7	31,3	31,8	32,3	32,8	29
24,7	30,2	30,7	31,2	31,8	32,3	32,8	33,3	33,8	30
25,6	31,3	31,8	32,3	32,8	33,3	33,8	34,3	34,8	31
26,4	32,3	32,8	33,3	33,8	34,3	34,8	35,4	35,9	32
27,3	33,3	33,8	34,3	34,8	35,3	35,8	36,4	36,9	33
28,1	34,3	34,8	35,3	35,8	36,3	36,9	37,4	37,9	34
29,0	35,3	35,8	36,3	36,9	37,4	37,9	38,4	38,9	35
29,9	36,3	36,9	37,4	37,9	38,3	38,8	39,3	39,8	36
30,8	37,3	37,9	38,4	38,9	39,3	39,8	40,3	40,8	37
31,7	38,3	38,8	39,3	39,8	40,3	40,8	41,3	41,8	38
32,5	39,3	39,8	40,3	40,8	41,3	41,8	42,2	42,8	39
33,4	40,3	40,8	41,3	41,8	42,2	42,7	43,2	43,7	40
34,3	41,3	41,8	42,3	42,8	43,2	43,7	44,2	44,7	41
35,2	42,3	42,8	43,3	43,8	44,2	44,7	45,2	45,7	42
36,1	43,3	43,8	44,3	44,8	45,2	45,7	46,2	46,7	43
37,0	44,3	44,7	45,2	45,7	46,2	46,7	47,2	47,7	44
37,9	45,3	45,7	46,2	46,7	47,2	47,7	48,2	48,6	45
38,8	46,3	46,7	47,2	47,7	48,2	48,7	49,2	49,6	46
39,7	47,2	47,7	48,2	48,7	49,2	49,6	50,2	50,6	47
40,7	48,2	48,7	49,2	49,7	50,2	50,6	51,1	51,6	48
41,7	49,3	49,7	50,2	50,7	51,1	51,6	52,0	52,5	49
42,6	50,2	50,7	51,2	51,6	52,0	52,5	53,0	53,4	50
43,5	51,3	51,7	52,1	52,6	53,0	53,5	53,9	54,4	51
44,4	52,2	52,7	53,1	53,6	54,0	54,5	54,9	55,4	52
45,4	53,2	53,7	54,1	54,6	55,0	55,5	55,9	56,4	53

Temperatur.

Wahre Volum- proc.	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°
54	50,1	50,6	51,1	51,5	52,0	52,4	52,9	53,3
55	51,2	51,6	52,1	52,5	53,0	53,4	53,9	54,3
56	52,2	52,7	53,1	53,6	54,0	54,5	54,9	55,4
57	53,3	53,7	54,2	54,6	55,0	55,5	55,9	56,5
58	54,3	54,7	55,2	55,6	56,1	56,5	56,9	57,4
59	55,3	55,7	56,2	56,6	57,1	57,5	58,0	58,4
60	56,3	56,8	57,2	57,6	58,1	58,5	59,0	59,4
61	57,4	57,8	58,2	58,6	59,1	59,5	60,0	60,4
62	58,4	58,8	59,2	59,7	60,1	60,5	61,0	61,4
63	59,4	59,8	60,2	60,7	61,1	61,5	62,0	62,4
64	60,4	60,8	61,2	61,7	62,1	62,5	63,0	63,4
65	61,4	61,8	62,3	62,7	63,1	63,5	64,0	64,4
66	62,4	62,9	63,3	63,7	64,2	64,6	65,0	65,4
67	63,4	63,9	64,3	64,8	65,2	65,6	66,0	66,4
68	64,5	64,9	65,3	65,8	66,2	66,6	67,0	67,4
69	65,5	66,0	66,4	66,8	67,2	67,6	68,0	68,4
70	66,5	67,0	67,4	67,8	68,2	68,6	69,0	69,4
71	67,6	68,0	68,4	68,9	69,2	69,6	70,0	70,4
72	68,6	69,0	69,4	69,9	70,2	70,6	71,0	71,4
73	69,6	70,0	70,4	70,9	71,2	71,6	72,0	72,4
74	70,6	71,0	71,4	71,9	72,2	72,6	73,0	73,4
75	71,7	72,1	72,5	72,9	73,3	73,7	74,1	74,4
76	72,7	73,1	73,5	73,9	74,3	74,7	75,1	75,5
77	73,7	74,1	74,5	74,9	75,3	75,7	76,1	76,5
78	74,8	75,2	75,6	75,9	76,3	76,7	77,1	77,5
79	75,8	76,2	76,6	76,9	77,3	77,7	78,1	78,5
80	76,9	77,2	77,6	78,0	78,3	78,7	79,1	79,5
81	77,9	78,3	78,6	79,0	79,4	79,7	80,1	80,5
82	78,9	79,3	79,7	80,0	80,4	80,8	81,1	81,5
83	80,0	80,3	80,7	81,1	81,4	81,8	82,1	82,5
84	81,0	81,4	81,7	82,1	82,5	82,8	83,2	83,5
85	82,0	82,4	82,8	83,1	83,5	83,8	84,2	84,5
86	83,1	83,5	83,8	84,2	84,5	84,8	85,2	85,5
87	84,2	84,5	84,9	85,2	85,5	85,9	86,2	86,5
88	85,2	85,6	85,9	86,2	86,6	86,9	87,2	87,5
89	86,3	86,6	86,9	87,3	87,6	87,9	88,2	88,5
90	87,3	87,6	88,0	88,3	88,6	88,9	89,2	89,5

Temperatur.

13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	Wahre Volum- proc.
51,2	54,7	55,1	55,6	56,0	56,5	56,9	57,4	54
55,2	55,7	56,1	56,6	57,0	57,4	57,9	58,3	55
56,2	56,7	57,1	57,6	58,0	58,4	58,9	59,3	56
57,2	57,7	58,1	58,6	59,0	59,4	59,9	60,3	57
58,2	58,7	59,1	59,6	60,0	60,4	60,9	61,3	58
59,2	59,7	60,1	60,6	61,0	61,4	61,9	62,3	59
60,2	60,7	61,1	61,6	62,0	62,4	62,9	63,3	60
61,2	61,7	62,1	62,5	63,0	63,4	63,8	64,3	61
62,2	62,7	63,1	63,5	63,9	64,4	64,8	65,3	62
63,2	63,7	64,1	64,5	64,9	65,4	65,8	66,2	63
64,2	64,7	65,1	65,5	65,9	66,3	66,8	67,2	64
65,2	65,6	66,1	66,5	66,9	67,3	67,7	68,1	65
66,2	66,6	67,1	67,5	67,9	68,3	68,7	69,1	66
67,2	67,6	68,1	68,5	68,9	69,3	69,7	70,1	67
68,2	68,6	69,0	69,4	69,9	70,3	70,7	71,1	68
69,2	69,6	70,0	70,4	70,9	71,3	71,7	72,1	69
70,2	70,6	71,0	71,4	71,9	72,3	72,7	73,1	70
71,2	71,6	72,0	72,4	72,8	73,2	73,6	74,0	71
72,2	72,6	73,0	73,4	73,8	74,2	74,6	75,0	72
73,2	73,6	74,0	74,4	74,8	75,2	75,6	76,0	73
74,2	74,6	75,0	75,4	75,8	76,2	76,6	77,0	74
75,2	75,6	76,0	76,4	76,8	77,1	77,5	77,9	75
76,2	76,6	77,0	77,3	77,7	78,1	78,5	78,9	76
77,2	77,6	77,9	78,3	78,7	79,1	79,5	79,9	77
78,2	78,6	78,9	79,3	79,7	80,1	80,5	80,9	78
79,2	79,6	79,9	80,3	80,7	81,1	81,5	81,9	79
80,2	80,6	80,9	81,3	81,6	82,0	82,4	82,8	80
81,2	81,6	81,9	82,3	82,6	83,0	83,4	83,8	81
82,2	82,6	82,9	83,3	83,6	84,0	84,4	84,7	82
83,2	83,6	83,9	84,3	84,6	85,0	85,3	85,7	83
84,2	84,6	84,9	85,2	85,6	85,9	86,3	86,7	84
85,2	85,5	85,9	86,2	86,6	86,9	87,3	87,6	85
86,2	86,5	86,9	87,2	87,6	87,9	88,2	88,6	86
87,2	87,5	87,9	88,2	88,6	88,9	89,2	89,5	87
88,2	88,5	88,9	89,2	89,5	89,9	90,2	90,5	88
89,2	89,5	89,8	90,1	90,5	90,8	91,1	91,4	89
90,2	90,5	90,8	91,1	91,4	91,7	92,1	92,4	90

No. 5.

Alkoholometerscale für Volumprocente bei 60° F. oder 12° 5 R.

Alkohol- gehalt. Volume.	Länge des ein- kenden Theils v. Hals.	Größe der Abthei- lungen.	Alkohol- gehalt. Volume.	Länge des ein- kenden Theils v. Hals.	Größe der Abthei- lungen.	Alkohol- gehalt. Volume.	Länge des ein- kenden Theils v. Hals.
0	9		34	420	13	68	1184
1	24	15	35	434	14	69	1215
2	39	15	36	449	15	70	1246
3	54	15	37	465	16	71	1278
4	68	14	38	481	16	72	1310
5	82	14	39	498	17	73	1342
6	95	13	40	515	17	74	1375
7	108	13	41	533	18	75	1409
8	121	13	42	551	18	76	1443
9	133	12	43	569	18	77	1478
10	145	12	44	588	19	78	1514
11	157	12	45	608	20	79	1550
12	169	12	46	628	20	80	1587
13	180	11	47	648	20	81	1624
14	191	11	48	669	21	82	1662
15	202	11	49	690	21	83	1701
16	213	11	50	712	22	84	1740
17	224	11	51	735	22	85	1781
18	235	11	52	758	23	86	1823
19	245	10	53	782	24	87	1866
20	256	10	54	806	24	88	1910
21	266	10	55	830	24	89	1955
22	277	11	56	854	24	90	2002
23	288	11	57	879	25	91	2050
24	299	11	58	905	26	92	2099
25	310	11	59	931	26	93	2150
26	321	11	60	957	26	94	2203
27	332	11	61	984	27	95	2259
28	344	12	62	1011	27	96	2318
29	355	11	63	1039	28	97	2380
30	367	12	64	1067	28	98	2447
31	380	13	65	1096	29	99	2519
32	393	13	66	1125	29	100	2597
33	407	14	67	1154	29		

Schwefel. Bestimmung des Gehaltes einiger verdünnter Säuren und Alkalien aus ihrem specifischen Gewichte

No. 1.

Die nachfolgende Tabelle enthält die specifischen Gewichte der verdünnten Schwefelsäure, deren spec. Gewicht bei 15°C ist, enthalten (nach Ure) an concentrirter und wasserfreier Säure

Spec. Gewicht der verdünnten Säure.	Wasserfreie Säure.	Concentrirte Säure.	Spec. Gewicht der verdünnten Säure.	Wasserfreie Säure.
1,8485	81,54	58	1,4660	47,29
1,8475	80,72	57	1,4560	46,58
1,8460	79,90	56	1,4460	45,66
1,8439	79,09	55	1,4360	44,85
1,8410	78,28	54	1,4265	44,03
1,8376	77,40	53	1,4170	43,22
1,8336	76,65	52	1,4073	42,40
1,8290	75,83	51	1,3977	41,58
1,8233	75,02	50	1,3884	40,77
1,8179	74,20	49	1,3788	39,95
1,8115	73,39	48	1,3697	39,14
1,8043	72,57	47	1,3612	38,32
1,7962	71,75	46	1,3530	37,51
1,7870	70,91	45	1,3440	36,69
1,7774	70,12	44	1,3345	35,88
1,7673	69,31	43	1,3255	35,06
1,7570	68,49	42	1,3165	34,25
1,7465	67,68	41	1,3080	33,43
1,7360	66,86	40	1,2999	32,61
1,7245	66,05	39	1,2913	31,80
1,7120	65,23	38	1,2826	30,98
1,6993	64,42	37	1,2740	30,17
1,6870	63,60	36	1,2651	29,35
1,6750	62,78	35	1,2572	28,54
1,6630	61,97	34	1,2490	27,72
1,6520	61,15	33	1,2409	26,91
1,6415	60,34	32	1,2334	26,09
1,6321	59,52	31	1,2260	25,28
1,6204	58,71	30	1,2184	24,46
1,6090	57,89	29	1,2108	23,65
1,5975	57,08	28	1,2032	22,83
1,5868	56,26	27	1,1956	22,01
1,5760	55,45	26	1,1876	21,20
1,5648	54,63	25	1,1792	20,38
1,5503	53,82	24	1,1706	19,57
1,5390	53,00	23	1,1626	18,75
1,5280	52,18	22	1,1549	17,94
1,5170	51,37	21	1,1480	17,12
1,5066	50,55	20	1,1410	16,31
1,4960	49,74	19	1,1330	15,49
1,4860	48,92	18	1,1246	14,68
1,4060	48,11	17	1,1165	13,86

Concentrirte Säure.	Spec. Gewicht der verdünnten Säure.	Wasserfreie Säure.	Concentrirte Säure.	Spec. Gewicht der verdünnten Säure.	Wass. S.
16	1,1090	13,05	8	1,0544	
15	1,1019	12,23	7	1,0477	
14	1,0953	11,41	6	1,0405	
13	1,0887	10,60	5	1,0336	
12	1,0809	9,78	4	1,0268	
11	1,0743	8,97	3	1,0206	
10	1,0682	8,15	2	1,0140	
9	1,0614	7,34	1	1,0074	0

No. 2.

100 Gewichtstheile einer Salpetersäure, welche das in der ersten angegebenen spec. Gewicht besitzt, enthalten (nach Ure) an hypothetischer freier Salpetersäure.

Spec. Gew.	Procente an Säure.	Spec. Gew.	Procente an Säure.	Spec. Gew.	Procente an Säure.
1,5000	79,700	1,4880	75,715	1,4730	73,715
1,4980	78,903	1,4850	74,918	1,4700	72,918
1,4960	78,106	1,4820	74,121	1,4670	72,121
1,4940	77,309	1,4790	73,324	1,4640	71,324
1,4910	76,512	1,4760	72,527	1,4600	70,527
1,4570	67,745	1,3270	44,832	1,1587	61,745
1,4530	66,948	1,3216	43,835	1,1526	60,948
1,1500	66,155	1,3163	43,038	1,1465	60,155
1,4460	65,351	1,3110	42,241	1,1403	59,351
1,4424	64,557	1,3056	41,444	1,1345	58,557
1,4385	63,760	1,3001	40,647	1,1286	57,760
1,4346	62,963	1,2947	39,850	1,1227	56,963
1,4306	62,166	1,2887	39,053	1,1168	56,166
1,4269	61,369	1,2826	38,256	1,1109	55,369
1,4228	60,572	1,2765	37,459	1,1051	54,572
1,4189	59,775	1,2705	36,662	1,0993	53,775
1,4147	58,978	1,2644	35,865	1,0935	52,978
1,4107	58,181	1,2583	35,068	1,0878	52,181
1,4065	57,384	1,2523	34,271	1,0821	51,384
1,4023	56,587	1,2462	33,474	1,0764	50,587
1,3978	55,790	1,2402	32,677	1,0708	49,790
1,3945	54,993	1,2341	31,880	1,0651	48,993
1,3882	54,196	1,2277	31,083	1,0595	48,196
1,3833	53,399	1,2212	30,286	1,0540	47,399
1,3783	52,602	1,2148	29,489	1,0485	46,602
1,3732	51,805	1,2084	28,692	1,0430	45,805
1,3681	51,008	1,2019	27,895	1,0375	45,008
1,3630	50,211	1,1958	27,098	1,0320	44,211
1,3579	49,414	1,1895	26,301	1,0267	43,414
1,3529	48,618	1,1833	25,504	1,0212	42,618
1,3477	47,820	1,1770	24,707	1,0159	41,820
1,3427	47,023	1,1709	23,910	1,0106	41,023
1,3376	46,226	1,1648	23,113	1,0053	40,226
1,3323	45,429				39,429

No. 3.

100 Gewichtstheile einer Salzsäure, welche bei 7°22 C. das angegebene Gewicht besitzt, enthalten (nach E. Davy) an chlorwasserstoffsäurem

Spec. Gew.	Chlorwasserstoffsäure in Procent.	Spec. Gew.	Chlorwasserstoffsäure in Procent.
1,21	42,43	1,10	20,20
1,20	40,80	1,09	18,18
1,19	38,38	1,08	16,16
1,18	36,36	1,07	14,14
1,17	34,34	1,06	12,12
1,16	32,32	1,05	10,10
1,15	30,30	1,04	8,08
1,14	28,28	1,03	6,00
1,13	26,26	1,02	4,01
1,12	24,24	1,01	2,02
1,11	22,22		

No. 4.

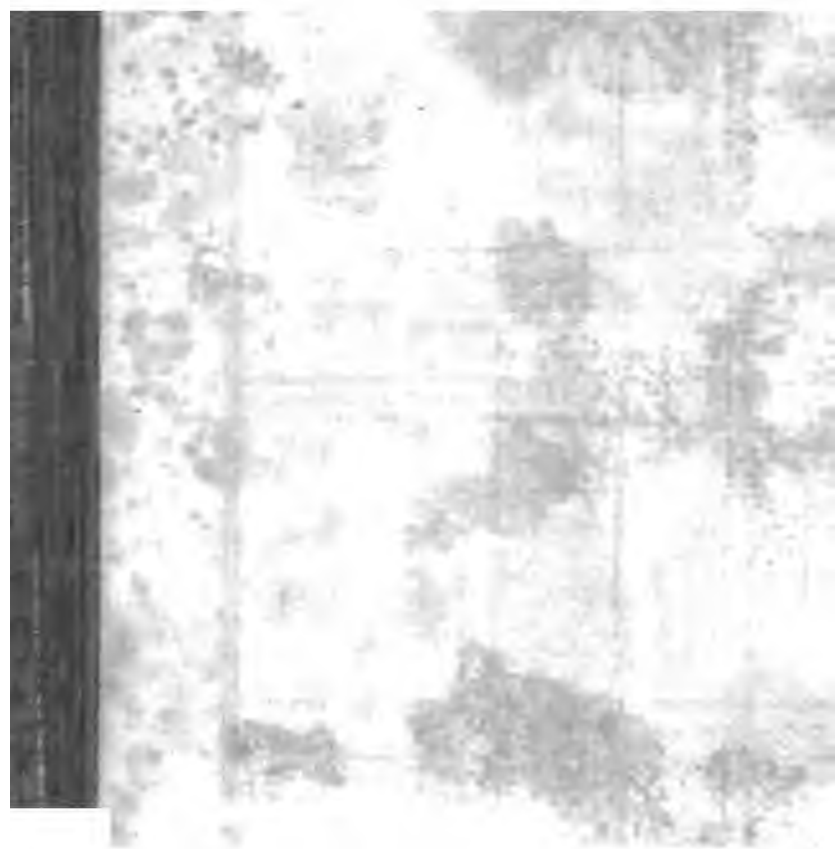
100 Gewichtstheile Aetzkali-Lauge vom angegebenen spec. Gewichte halten (nach Dalton) an wasserfreiem Aetzkali.

Gew. der Lösung.	Kaligehalt nach p. C.	Spec. Gew. der Lösung.	Kaligehalt nach p. C.
1,68	51,2	1,33	26,3
1,60	46,7	1,28	23,4
1,52	42,9	1,23	19,5
1,47	39,6	1,19	16,2
1,44	36,8	1,15	13,0
1,42	34,4	1,11	9,5
1,39	32,1	1,06	4,7
1,36	29,1		

No. 5.

100 Gewichtstheile Aetznatron-Lauge vom angegebenen spec. Gewichte halten (nach Dalton) an wasserfreiem Aetznatron.

Gew. der Lösung.	Natrongehalt in p. C.	Spec. Gew. der Lösung.	Natrongehalt in p. C.
2,00	77,8	1,10	29,0
1,85	63,6	1,36	26,0
1,72	53,8	1,32	23,0
1,63	46,6	1,29	19,0
1,56	41,2	1,23	16,0
1,50	36,8	1,18	13,0
1,47	34,0	1,12	9,0
1,44	31,0	1,06	4,7



Tafel. Absorptionsvermögen fester und flüssiger Körper, bei Berührung mit Gasen.

(Nach Beobachtungen von Theodor von Saussure.)

Flüssige Körper, bei 15° Temperatur und unter 0,73 Metre Druck.

Gas des Körpers, trocken bei, absorbiert Volumina folgender Gase.	Buchsbaumkohle in ganzen Stücken.	Klebschiefer.	Meerschäum.	Holzmasse.	Hydrophan.	Gyps.	Bergmilch.	Haselholz.	Leinfäden.	Wolle.	Seide.
Sauerstoffgas	90	113	15,0	12,75	64,0	...	...	100	68	...	78
Kohlensäuregas	85	...	...	...	17,0	...	...	...	...	...	...
Saures Gas	65	...	...	...	7,37	...	...	...	...	...	...
Wasserstoffgas	55	...	11,7	...	...	...	...	...	...	...	...
Süßholzgas	40	...	3,75	...	...	...	...	...	...	...	...
Essigsäuregas	35	2,0	5,26	1,7	1,0	0,43	0,87	1,1	0,62	1,7	1,1
Phosphorwasserstoffgas	35	1,3	3,7	1,7	0,8	...	...	0,71	0,48	0,57	0,5
Ammoniakgas	34,2	0,55	1,17	0,58	...	...	...	0,58	0,35	0,3	0,3
Schwefelwasserstoffgas	9,25	0,7	1,49	0,47	0,6	0,58	0,67	0,47	0,35	0,43	0,44
Chlorwasserstoffgas	7,50	0,7	1,6	0,47	0,6	0,53	0,80	0,21	0,33	0,24	0,13
Phosphoräthylgas	1,75	0,48	0,44	0,31	0,4	0,50	0,80	0,58	0,35	0,3	0,3

2. Flüssige Körper bei 18° C.

Gas der Flüssigkeit absorbiert Volumina folgender Gase.	Wasser, luftfrei, chemisch rein.	Alkohol von 0,84 spec. Gewicht, luftfrei.	Steinöl.	Lavendelöl.	Baumöl.	Gesättigte Lösung von Chlorkalium.
Saures Gas	43,78	155,77	...	...	...	...
Wasserstoffgas	2,53	6,06	...	...	...	...
Kohlensäuregas	1,06	1,87	1,60	1,91	1,51	0,61
Süßholzgas	0,76	1,53	2,54	2,75	1,50	0,29
Essigsäuregas	0,155	1,27	2,61	2,09	1,22	0,10
Phosphorwasserstoffgas	0,065	0,163	...	...	...	...
Ammoniakgas	0,062	0,145	0,30	0,156	0,52	0,052
Chlorwasserstoffgas	0,046	0,051	...	...	...	...
Phosphoräthylgas	0,042	0,042	...	...	...	...

XIV. Tafel. Siedpunkt des reinen Wassers bei verschiedenen Barometerständen.

Grad der Siedhöhe. C.	Barometerstand. Par. Linien.	Unterschied
101°	349,00	6,05
100,5	342,95	6,05
100	336,90	6,05
99,5	330,85	6,05
99	324,80	6,00
98,5	318,80	5,93
98	312,87	5,86
97,5	307,07	5,59
97	301,18	5,26
96,5	296,22	4,68
96	291,34	

XV. Tafel. Grösste Spannkraft des Wasserdam

a) — 20 bis + 35° C., ausgedrückt in Par. Linien Quecksilber

Temperatura.	Spannkraft. Par. Linien.	Temperatura.	Spannkraft. Par. Linien.	Temperatura.	Spannkraft. Par. Linien.
		— 25	1,32	+ 4,5	3,0
		— 20	1,37	5	3,1
		— 15	1,42	5,5	3,2
		— 10	1,47	6	3,3
		— 5	1,52	6,5	3,4
		0	1,56	7	3,5
		5	1,61	7,5	3,7
		10	1,66	8	3,8
		15	1,71	8,5	3,9
		20	1,76	9	4,0
		25	1,81	9,5	4,1
		30	1,86	10	4,2
		35	1,91	10,5	4,3
			1,96	11	4,4
			1,97	11,5	4,5
			1,98	12	4,6
			1,99	12,5	4,7
			2,00	13	4,8
			2,01	13,5	4,9
			2,02	14	5,0
			2,03	14,5	5,1
			2,04	15	5,2
			2,05	15,5	5,3
			2,06	16	5,4
			2,07	16,5	5,5
			2,08	17	5,6
			2,09	17,5	5,7
			2,10	18	5,8
			2,11	18,5	5,9
			2,12	19	6,0
			2,13	19,5	6,1
			2,14	20	6,2
			2,15	20,5	6,3
			2,16	21	6,4
			2,17	21,5	6,5
			2,18	22	6,6
			2,19	22,5	6,7
			2,20	23	6,8
			2,21	23,5	6,9
			2,22	24	7,0
			2,23	24,5	7,1
			2,24	25	7,2
			2,25	25,5	7,3
			2,26	26	7,4
			2,27	26,5	7,5
			2,28	27	7,6
			2,29	27,5	7,7
			2,30	28	7,8
			2,31	28,5	7,9
			2,32	29	8,0
			2,33	29,5	8,1
			2,34	30	8,2
			2,35	30,5	8,3
			2,36	31	8,4
			2,37	31,5	8,5
			2,38	32	8,6
			2,39	32,5	8,7
			2,40	33	8,8
			2,41	33,5	8,9
			2,42	34	9,0
			2,43	34,5	9,1
			2,44	35	9,2
			2,45	35,5	9,3
			2,46	36	9,4
			2,47	36,5	9,5
			2,48	37	9,6
			2,49	37,5	9,7
			2,50	38	9,8
			2,51	38,5	9,9
			2,52	39	10,0
			2,53	39,5	10,1
			2,54	40	10,2
			2,55	40,5	10,3
			2,56	41	10,4
			2,57	41,5	10,5
			2,58	42	10,6
			2,59	42,5	10,7
			2,60	43	10,8
			2,61	43,5	10,9
			2,62	44	11,0
			2,63	44,5	11,1
			2,64	45	11,2
			2,65	45,5	11,3
			2,66	46	11,4
			2,67	46,5	11,5
			2,68	47	11,6
			2,69	47,5	11,7
			2,70	48	11,8
			2,71	48,5	11,9
			2,72	49	12,0
			2,73	49,5	12,1
			2,74	50	12,2
			2,75	50,5	12,3
			2,76	51	12,4
			2,77	51,5	12,5
			2,78	52	12,6
			2,79	52,5	12,7
			2,80	53	12,8
			2,81	53,5	12,9
			2,82	54	13,0
			2,83	54,5	13,1
			2,84	55	13,2
			2,85	55,5	13,3
			2,86	56	13,4
			2,87	56,5	13,5
			2,88	57	13,6
			2,89	57,5	13,7
			2,90	58	13,8
			2,91	58,5	13,9
			2,92	59	14,0
			2,93	59,5	14,1
			2,94	60	14,2
			2,95	60,5	14,3
			2,96	61	14,4
			2,97	61,5	14,5
			2,98	62	14,6
			2,99	62,5	14,7
			3,00	63	14,8
			3,01	63,5	14,9
			3,02	64	15,0
			3,03	64,5	15,1
			3,04	65	15,2
			3,05	65,5	15,3
			3,06	66	15,4
			3,07	66,5	15,5
			3,08	67	15,6
			3,09	67,5	15,7
			3,10	68	15,8
			3,11	68,5	15,9
			3,12	69	16,0
			3,13	69,5	16,1
			3,14	70	16,2
			3,15	70,5	16,3
			3,16	71	16,4
			3,17	71,5	16,5
			3,18	72	16,6
			3,19	72,5	16,7
			3,20	73	16,8
			3,21	73,5	16,9
			3,22	74	17,0
			3,23	74,5	17,1
			3,24	75	17,2
			3,25	75,5	17,3
			3,26	76	17,4
			3,27	76,5	17,5
			3,28	77	17,6
			3,29	77,5	17,7
			3,30	78	17,8
			3,31	78,5	17,9
			3,32	79	18,0
			3,33	79,5	18,1
			3,34	80	18,2
			3,35	80,5	18,3
			3,36	81	18,4
			3,37	81,5	18,5
			3,38	82	18,6
			3,39	82,5	18,7
			3,40	83	18,8
			3,41	83,5	18,9
			3,42	84	19,0
			3,43	84,5	19,1
			3,44	85	19,2
			3,45	85,5	19,3
			3,46	86	19,4
			3,47	86,5	19,5
			3,48	87	19,6
			3,49	87,5	19,7
			3,50	88	19,8
			3,51	88,5	19,9
			3,52	89	20,0
			3,53	89,5	20,1
			3,54	90	20,2
			3,55	90,5	20,3
			3,56	91	20,4
			3,57	91,5	20,5
			3,58	92	20,6
			3,59	92,5	20,7
			3,60	93	20,8
			3,61	93,5	20,9
			3,62	94	21,0
			3,63	94,5	21,1
			3,64	95	21,2
			3,65	95,5	21,3
			3,66	96	21,4
			3,67	96,5	21,5
			3,68	97	21,6
			3,69	97,5	21,7
			3,70	98	21,8
			3,71	98,5	21,9
			3,72	99	22,0
			3,73	99,5	22,1
			3,74	100	22,2

er- n.	Spannkraft- Par. Linien.	Tempera- turen.	Spannkraft- Par. Linien.	Tempera- turen.	Spannkraft- Par. Linien.
7	6,72	+ 23,5	9,91	+ 30	14,36
7,5	6,93	24	10,20	30,5	14,77
3	7,14	24,5	10,50	31	15,19
3,5	7,26	25	10,81	31,5	15,62
4	7,49	25,5	11,12	32	16,06
4,5	7,83	26	11,44	32,5	16,51
5	8,07	26,5	11,77	33	16,97
5,5	8,32	27	12,11	33,5	17,44
6	8,57	27,5	12,46	34	17,92
6,5	8,83	28	12,82	34,5	18,41
7	9,09	28,5	13,19	35	18,91
7,5	9,36	29	13,57		
8	9,63	29,5	13,96		

Die Spannkraften (e) ausgedrückt in Atmosphären von Mtr. 0,760; die Temperaturen (t) in Graden C.

t	Unter- schiede d. Temp.	e	t	Unter- schiede d. Temp.	e	t	Unter- schiede d. Temp.
32,864	14,000	1,75	116,517	0,849	5,75	158,195	1,685
46,864	8,762	1,80	117,366	1,699	6,00	159,880	1,629
56,626	5,270	1,90	119,065	1,629	6,25	161,509	1,578
60,896	4,819	2,00	120,694	1,564	6,50	163,087	1,530
65,715	4,063	2,10	122,258	2,239	6,75	164,617	1,487
69,778	3,125	2,25	124,497	2,125	7,00	166,104	1,445
73,312	3,125	2,40	126,622	1,351	7,25	167,549	1,404
76,437	2,810	2,50	127,973	1,314	7,50	168,953	1,369
79,247	2,579	2,60	129,287	1,892	7,75	170,322	1,333
81,826	2,264	2,75	131,179	1,817	8,00	171,655	1,300
84,090	2,264	2,90	132,996	1,188	8,25	172,955	1,271
86,270	2,180	3,00	134,184	1,156	8,50	174,226	1,240
88,400	2,130	3,10	135,340	1,614	8,75	175,466	1,211
90,333	1,933	3,25	136,954	1,572	9,00	176,677	1,184
92,140	1,807	3,40	138,516	1,061	9,25	177,864	1,157
93,897	1,757	3,50	139,577	1,009	9,50	179,021	1,133
95,512	1,615	3,60	140,586	1,478	9,75	180,154	1,119
97,091	1,579	3,75	142,054	1,425	10,00	181,273	1,092
98,588	1,497	3,90	143,479	0,924	10,25	182,365	1,069
100,000	1,412	4,00	144,403	0,906	10,50	183,434	1,051
102,681	2,684	4,10	145,309	1,328	10,75	184,485	1,030
105,179	2,595	4,25	146,637	1,300	11,00	185,515	1,014
106,361	1,182	4,40	147,937	0,832	11,25	186,529	0,994
107,510	1,149	4,50	148,769	2,066	11,50	187,523	0,977
109,700	2,190	4,75	150,835	1,928	11,75	188,500	0,961
111,749	2,049	5,00	152,763	1,880	12,00	189,461	0,946
113,728	1,979	5,25	154,643	1,808	12,25	190,407	0,931
115,590	1,862	5,50	156,451	1,744	12,50	191,338	0,913
116,517	0,927	5,75	158,195		12,75	192,251	

e	t	Unterschiede d. Temp.	e	t	Unterschiede d. Temp.	e	t	Unterschiede d. Temp.
12,75	192,251	0,902	20,25	214,707		31,50	238,192	
13,00	193,153	0,887	20,50	215,332	0,625	32,00	239,070	0,887
13,25	194,040	0,874	20,75	215,951	0,619	32,5	239,931	0,854
13,50	194,914	0,861	21,00	216,563	0,612	33,0	240,788	0,821
13,75	195,775	0,848	21,25	217,170	0,607	33,5	241,633	0,821
14,00	196,623	0,837	21,50	217,770	0,600	34,0	242,466	0,821
14,25	197,460	0,826	21,75	218,365	0,595	34,5	243,290	0,821
14,50	198,286	0,814	22,00	218,956	0,591	35,0	244,105	0,821
14,75	199,100	0,802	22,25	219,540	0,584	35,5	244,910	0,821
15,00	199,902	0,791	22,50	220,119	0,579	36,0	245,706	0,821
15,25	200,693	0,783	22,75	220,695	0,576	36,5	246,495	0,821
15,50	201,476	0,773	23,00	221,263	0,568	37,0	247,272	0,821
15,75	202,249	0,762	23,25	221,827	0,564	37,5	248,045	0,821
16,00	203,011	0,754	23,50	222,388	0,561	38,0	248,806	0,821
16,25	203,765	0,743	23,75	222,942	0,554	38,5	249,561	0,821
16,50	204,508	0,734	24,00	223,492	0,550	39,0	250,309	0,821
16,75	205,242	0,726	24,50	224,039	1,087	39,5	251,052	0,821
17,00	205,968	0,718	25,00	224,584	1,070	40,0	251,779	0,821
17,25	206,686	0,709	25,50	225,126	1,053	41,0	252,500	0,821
17,50	207,395	0,700	26,00	225,666	1,034	42,0	253,215	0,821
17,75	208,095	0,695	26,50	226,203	1,021	43,0	253,925	0,821
18,00	208,790	0,686	27,00	226,736	1,007	44,0	254,630	0,821
18,25	209,476	0,677	27,50	227,266	0,988	45,0	255,330	0,821
18,50	210,153	0,672	28,00	227,792	0,975	46,0	256,025	0,821
18,75	210,825	0,664	28,50	228,315	0,961	47,0	256,715	0,821
19,00	211,489	0,656	29,00	228,835	0,950	48,0	257,400	0,821
19,25	212,145	0,652	29,50	229,352	0,934	49,0	258,080	0,821
19,50	212,797	0,641	30,00	229,866	0,924	50,0	258,755	0,821
29,75	213,438	0,638	30,50	230,376	0,909			
10,00	214,076	0,631	31,00	230,882	0,900			
20,25	214,707		31,50	231,385	0,887			

Werden die unter *e* befindlichen Zahlenwerthe mit 1,0337 multiplicirt findet man den Druck des Dampfes auf 1 Q. Centimeter Fläche in Kilogrammen. Durch Multiplication derselben Werthe mit 1092,7, den Druck auf 11 Q. F. Fläche ebenfalls in Kilogrammen (196.)

Tafel der Spannkraft des Wasserdampfs, berechnet nach neuen Versuchen von Magnus und nach der Formel

$$e^{\text{mm}} = 4,525 \cdot 10^{\frac{7,4475 t}{234,09 + t}}$$

t	e	t	e	t	e	t	e	t	e
°C.	mm	°C.	mm	°C.	mm	°C.	mm	°C.	mm
20	0,916	+8	7,964	36	44,268	64	178,397	92	566,117
19	0,999	9	8,525	37	46,758	65	186,601	93	587,836
18	1,089	10	9,126	38	49,368	66	195,124	94	610,217
17	1,186	11	9,751	39	52,193	67	203,975	95	633,305
16	1,290	12	10,421	40	54,969	68	213,166	96	657,120
15	1,403	13	11,130	41	57,969	69	222,706	97	681,683
14	1,525	14	11,882	42	61,109	70	232,606	98	707,000
13	1,655	15	12,677	43	64,396	71	242,877	99	733,100
12	1,796	16	13,519	44	67,833	72	253,530	100	760,000
11	1,947	17	14,409	45	71,427	73	264,577	101	787,718
10	2,109	18	15,351	46	75,185	74	276,029	102	816,273
9	2,284	19	16,345	47	79,111	75	287,898	103	845,683
8	2,471	20	17,396	48	83,212	76	300,193	104	875,971
7	2,671	21	18,505	49	87,494	77	312,934	105	907,157
6	2,886	22	19,675	50	91,965	78	326,127	106	939,260
5	3,115	23	20,909	51	96,630	79	339,786	107	972,296
4	3,361	24	22,211	52	101,497	80	353,926	108	1006,300
3	3,624	25	23,582	53	106,572	81	368,558	109	1041,278
2	3,905	26	25,026	54	111,864	82	383,697	110	1077,261
1	4,205	27	26,547	55	117,378	83	399,357	111	1114,268
0	4,525	28	28,148	56	123,124	84	415,552	112	1152,321
1	4,867	29	29,832	57	129,109	85	432,295	113	1191,444
2	5,231	30	31,602	58	135,341	86	449,603	114	1231,660
4	5,619	31	33,464	59	141,829	87	467,489	115	1272,986
3	6,032	32	35,419	60	148,579	88	485,970	116	1315,462
5	6,471	33	37,473	61	155,603	89	505,060	117	1359,094
6	6,939	34	39,630	62	162,908	90	524,775	118	1403,915
7	7,436	35	41,893	63	170,502	91	545,133		

XVI. Tafel des Wassergehaltes der atmosphärischen Luft
in Milliontheilen des Raumes.

Temperatur der Luft. Grade nach Celsius.	Differenz des trockenen und befeuchteten Thermometers.													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
- 20	1,5	0,8	0,1											
- 19	1,6	0,9	0,2											
- 18	1,8	1,0	0,3											
- 17	1,9	1,1	0,4											
- 16	2,0	1,2	0,5											
- 15	2,1	1,3	0,6											
- 14	2,3	1,5	0,8											
- 13	2,4	1,6	0,9	0,1										
- 12	2,6	1,8	1,0	0,3										
- 11	2,7	2,0	1,2	0,4										
- 10	2,9	2,1	1,3	0,6										
- 9	3,1	2,3	1,5	0,7										
- 8	3,3	2,5	1,7	0,9	0,1									
- 7	3,5	2,7	1,9	1,1	0,3									
- 6	3,7	2,9	2,1	1,3	0,5									
- 5	4,0	3,1	2,3	1,5	0,7									
- 4	4,2	3,4	2,5	1,7	0,9	0,1								
- 3	4,5	3,6	2,8	1,9	1,1	0,3								
- 2	4,8	3,9	3,0	2,2	1,4	0,5								
- 1	5,1	4,2	3,3	2,4	1,6	0,8								
0	5,4	4,5	3,6	2,7	1,9	1,0	0,2							
+ 1	5,7	4,7	3,8	2,9	2,1	1,2	0,4							
+ 2	6,1	5,1	4,1	3,2	2,3	1,4	0,5							
+ 3	6,5	5,4	4,4	3,4	2,5	1,6	0,7							
+ 4	6,9	5,8	4,8	3,7	2,7	1,8	1,0							
+ 5	7,3	6,2	5,1	4,1	3,1	2,1	1,2							
+ 6	7,7	6,6	5,5	4,5	3,4	2,4	1,4							
+ 7	8,2	7,0	5,9	4,9	3,8	2,8	1,8							
+ 8	8,7	7,5	6,4	5,3	4,2	3,2	2,1	0,3						
+ 9	9,2	8,0	6,9	5,7	4,6	3,6	2,5	1,5	0,2					
+ 10	9,7	8,5	7,3	6,2	5,1	4,0	2,9	1,9	0,9					
+ 11	10,3	9,1	7,9	6,7	5,6	4,4	3,3	2,3	1,2	0,2				
+ 12	10,9	9,7	8,4	7,2	6,0	4,9	3,8	2,7	1,7	0,6				
+ 13	11,6	10,3	9,0	7,8	6,6	5,4	4,3	3,1	2,1	1,0				
+ 14	12,2	10,9	9,6	8,3	7,1	5,9	4,8	3,6	2,5	1,4	0,4			
+ 15	13,0	11,6	10,3	9,0	7,7	6,5	5,3	4,1	3,0	1,9	0,8			
+ 16	13,7	12,3	10,9	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,5	2,4	1,3	0,2		
+ 17	14,5	13,1	11,8	10,3	9,0	7,7	6,4	5,2	4,0	2,9	1,7	0,7		
+ 18	15,3	13,8	12,4	11,0	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,4	2,2	1,1	0,2	
+ 19	16,2	14,7	13,2	11,7	10,3	9,0	7,7	6,4	5,1	3,9	2,8	1,6	0,7	
+ 20	17,1	15,5	14,0	12,5	11,1	9,7	8,3	7,0	5,8	4,5	3,3	2,2	1,1	0,2
+ 21	18,1	16,5	14,9	13,4	11,9	10,5	9,1	7,7	6,4	5,1	3,9	2,7	1,5	0,3
+ 22	19,1	17,4	15,8	14,2	12,7	11,2	9,8	8,4	7,1	5,8	4,5	3,3	2,2	0,8
+ 23	20,2	18,5	16,8	15,2	13,6	12,1	10,6	9,2	7,8	6,4	5,2	3,8	2,6	1,0
+ 24	21,3	19,6	17,8	16,1	14,5	12,9	11,4	10,0	8,5	7,2	5,8	4,5	3,3	1,2
+ 25	22,5	20,6	18,9	17,1	15,5	13,8	12,3	10,8	9,3	7,9	6,5	5,2	3,8	1,3
+ 26	23,8	21,8	20,0	18,2	16,5	14,8	13,2	11,6	10,1	8,7	7,3	5,9	4,5	1,4
+ 27	25,1	23,1	21,2	19,3	17,5	15,8	14,2	12,6	11,0	9,5	8,1	6,7	5,3	1,5
+ 28	26,4	24,4	22,4	20,5	18,7	16,9	15,2	13,5	11,9	10,4	8,9	7,5	6,1	1,6
+ 29	27,9	25,8	23,7	21,7	19,8	18,0	16,3	14,6	12,9	11,3	9,8	8,3	6,9	1,7
+ 30	29,4	27,2	25,1	23,0	21,1	19,2	17,4	15,6	13,9	12,3	10,7	9,1	7,7	1,8
+ 31	31,0	28,7	26,5	24,4	22,4	20,4	18,5	16,7	15,0	13,3	11,6	10,0	8,5	1,9
+ 32	32,6	30,3	28,0	25,8	23,8	21,7	19,8	17,9	16,1	14,3	12,7	11,0	9,4	2,0
+ 33	34,4	31,9	29,6	27,3	25,2	23,1	21,1	19,1	17,3	15,4	13,7	12,0	10,3	2,1
+ 34	36,2	33,7	31,2	28,9	26,7	24,5	22,4	20,4	18,5	16,6	14,8	13,1	11,4	2,2
+ 35	38,1	35,5	33,0	30,6	28,2	26,0	23,8	21,8	19,8	17,8	16,0	14,2	12,5	2,3

für die den dunklen Linien B bis H im Spectrum entsprechenden Strahlen.

Brechendes Mittel.	Spec. Gew.	B	C	D	E	F	G	H
Flintglas . . .	3,723	1,627749	1,629681	1,630036	1,632024	1,635266	1,660285	1,671062
Crown Glas . . .	2,535	1,525832	1,526819	1,529587	1,533003	1,536052	1,541657	1,548066
Wasser . . .	1,000	1,330956	1,331710	1,333577	1,335850	1,337803	1,341277	1,344170
Terpentinöl . . .	0,885	1,470496	1,471530	1,474431	1,478353	1,481736	1,488198	1,493874
Flintglas . . .	3,512	1,602042	1,603800	1,608494	1,614532	1,620012	1,630722	1,640373
Flintglas . . .	3,695	1,623570	1,625477	1,630585	1,637356	1,643466	1,655106	1,666072
Crown Glas . . .	2,756	1,554774	1,555933	1,559075	1,563150	1,568711	1,573535	1,579470
Gelbes Borsäure- Flintglas . . .	3,417	1,704920	1,707000	1,714390	1,723390	1,731910	1,748590	1,763600

XVIII. Tabelle der Brechungsverhältnisse für Strahlen von mittlerer Brechbarkeit, beim Uebergange aus Luft in die bezeichneten Mittel.

Brechendes Mittel.	Spec. Gew.	Feste und Flüssige Körper.			Zerstreungsvermögen
		Brechungsexponenten.	Absolutes Brechungsvermögen.	Specifisches	
Diamant	3,521	2,487	5,185	1,473	0,0
Schwefel, natürlich vorkommender	2,033	2,115	3,473	1,708	0,1
Saphir, blauer	4,000	1,794	2,218	0,554	0,0
Topas, gelber	3,550	1,638	1,683	0,474	0,0
Bergkrystall	2,653	1,562	1,440	0,545	0,0
Steinsalz	2,143	1,557	1,424	0,664	0,0
Zucker	1,606	1,554	1,415	0,943	0,0
Eis	0,916	1,307	0,708	0,775	0,0
Wasser.	1,000	1,336	0,785	0,785	0,0
Crownglas	2,535	1,533	1,350	0,544	0,0
Flintglas	3,723	1,642	1,696	0,799	0,0
Schwefel-Kohlenstoff	1,272	1,643	1,699	1,336	0,0
Terpentinöl	0,885	1,476	1,178	1,332	0,0
Aether	0,713	1,358	0,844	1,151	0,0
Alkohol	0,825	1,374	0,885	1,076	0,0
Schwefelsäure	1,841	1,440	1,074	0,583	0,0

**Tabelle der Brechungsverhältnisse und des absoluten Brechungsvermögens einiger Gase bei 0°
(nach Dulong, Pogg. Ann VI. 413). Uebergang in den leeren Raum.**

Benennung der Gase.	Brechungsexponent.	Absolutes Brechungsvermögen.
Ätherische Luft	1,000294	0,000589
Ammoniak	1,000272	0,000544
Chlorwasserstoff	1,000138	0,000277
Chlorkohlensäure	1,000300	0,000601
Chlorkohlensäure	1,000385	0,000771
Chlorkohlensäure	1,000449	0,000899
Chlorkohlensäure	1,000772	0,001545
Chlorkohlensäure	1,000449	0,000899
Chlorkohlensäure	1,000503	0,001007
Chlorkohlensäure	1,000303	0,000606
Chlorkohlensäure	1,000340	0,000681
Chlorkohlensäure	1,000834	0,001668
Chlorkohlensäure	1,000678	0,001356
Chlorkohlensäure	1,000143	0,000886
Chlorkohlensäure	1,000665	0,001331
Chlorkohlensäure	1,000641	0,001288
Chlorkohlensäure	1,001530	0,003061
Chlorkohlensäure	1,001500	0,003010

Die Tabelle der Beobachtungsergebnisse nach der Ablesung
 der Messungsergebnisse zeigt die 0' und
 die Beobachtungsergebnisse für die Jahre 1884 bis
 1890 in der letzten Spalte.

Beobachtungsergebnisse	Beobachtungsergebnisse	Beobachtungsergebnisse
1884	1885	1886
1887	1888	1889
1890	1891	1892
1893	1894	1895
1896	1897	1898
1899	1900	1901
1902	1903	1904
1905	1906	1907
1908	1909	1910
1911	1912	1913
1914	1915	1916
1917	1918	1919
1920	1921	1922
1923	1924	1925
1926	1927	1928
1929	1930	1931
1932	1933	1934
1935	1936	1937
1938	1939	1940
1941	1942	1943
1944	1945	1946
1947	1948	1949
1950	1951	1952
1953	1954	1955
1956	1957	1958
1959	1960	1961
1962	1963	1964
1965	1966	1967
1968	1969	1970
1971	1972	1973
1974	1975	1976
1977	1978	1979
1980	1981	1982
1983	1984	1985
1986	1987	1988
1989	1990	1991
1992	1993	1994
1995	1996	1997
1998	1999	2000
2001	2002	2003
2004	2005	2006
2007	2008	2009
2010	2011	2012
2013	2014	2015
2016	2017	2018
2019	2020	2021
2022	2023	2024
2025	2026	2027
2028	2029	2030
2031	2032	2033
2034	2035	2036
2037	2038	2039
2040	2041	2042
2043	2044	2045
2046	2047	2048
2049	2050	2051
2052	2053	2054
2055	2056	2057
2058	2059	2060
2061	2062	2063
2064	2065	2066
2067	2068	2069
2070	2071	2072
2073	2074	2075
2076	2077	2078
2079	2080	2081
2082	2083	2084
2085	2086	2087
2088	2089	2090
2091	2092	2093
2094	2095	2096
2097	2098	2099
2100	2101	2102
2103	2104	2105
2106	2107	2108
2109	2110	2111
2112	2113	2114
2115	2116	2117
2118	2119	2120
2121	2122	2123
2124	2125	2126
2127	2128	2129
2130	2131	2132
2133	2134	2135
2136	2137	2138
2139	2140	2141
2142	2143	2144
2145	2146	2147
2148	2149	2150
2151	2152	2153
2154	2155	2156
2157	2158	2159
2160	2161	2162
2163	2164	2165
2166	2167	2168
2169	2170	2171
2172	2173	2174
2175	2176	2177
2178	2179	2180
2181	2182	2183
2184	2185	2186
2187	2188	2189
2190	2191	2192
2193	2194	2195
2196	2197	2198
2199	2200	2201
2202	2203	2204
2205	2206	2207
2208	2209	2210
2211	2212	2213
2214	2215	2216
2217	2218	2219
2220	2221	2222
2223	2224	2225
2226	2227	2228
2229	2230	2231
2232	2233	2234
2235	2236	2237
2238	2239	2240
2241	2242	2243
2244	2245	2246
2247	2248	2249
2250	2251	2252
2253	2254	2255
2256	2257	2258
2259	2260	2261
2262	2263	2264
2265	2266	2267
2268	2269	2270
2271	2272	2273
2274	2275	2276
2277	2278	2279
2280	2281	2282
2283	2284	2285
2286	2287	2288
2289	2290	2291
2292	2293	2294
2295	2296	2297
2298	2299	2300

Pl. 1.

Fig. 1 und 2 in $\frac{1}{12}$
Größ
Fig. 3 und 4 in $\frac{1}{4}$
licher Größ

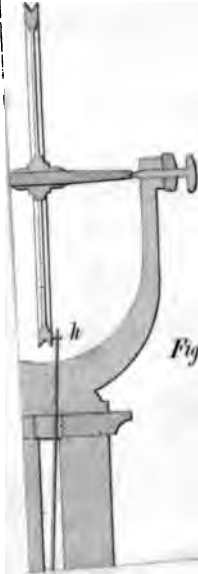


Fig. 3.



Pl. 1.

und 2 in 1/2
Größe
und 1 in 1/2
licher Größe

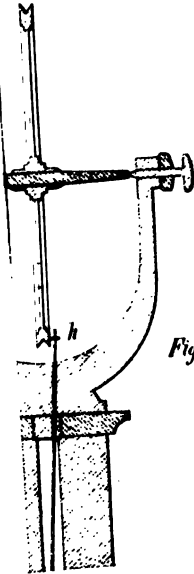


Fig. 3.





Fig. II.

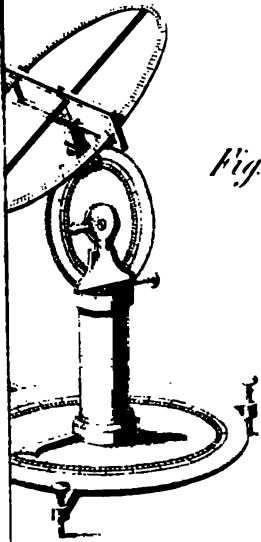


Fig. II.



Fig. 4.

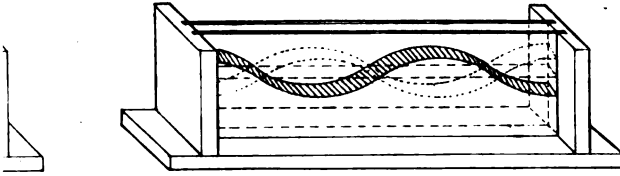
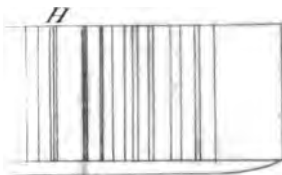
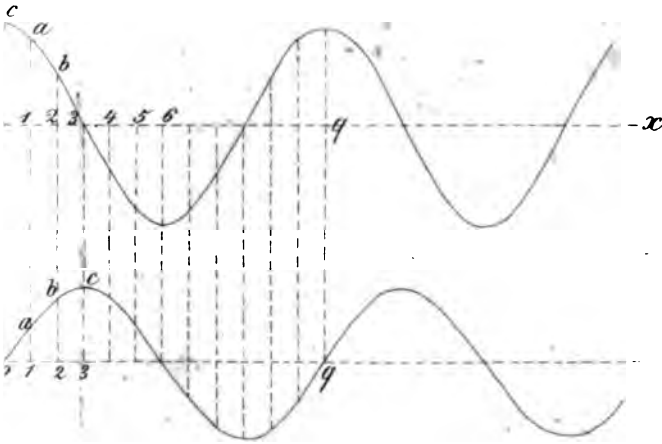


Fig. 5.



Violett



Fig 4

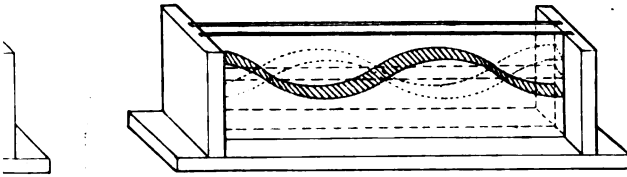
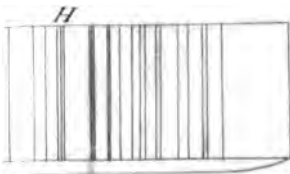
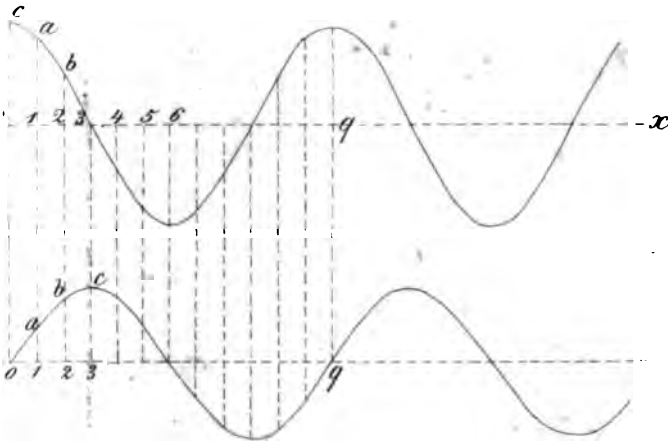


Fig 5



Violett



R e g i s t e r.

	Seite		Seite
A.			
on	555	Batterie, Volta'sche	279
ng der Erde	84	Becherapparat	279
on der Gase	158	Beobachten	3
on der Wärme	674	Beschleunigung	50
ung, chromatische	586	Beweglichkeit	6
— magnetische	195	Bewegung, gleichförmige	47
— sphärische	587	— — gleichförmig be-	
tismus	578	schleunigte	49
tische Linse	586	— — krummlinigte	82
l	14	Bewegungsmoment	56
ometer	100	Biegung des Lichtes	616
ische Theorie	09	Blitz	252
er	97	Blitzableiter	253
ie Magnetenadel	56	Blitzrad	276
n	198	Bohnenbergers Electroscope	271
ärendruck	667	Brechbarkeit des Lichtes	562
ische Theorie	122	— — der Wärmestrahlen	672
en der Dämpfe	8	Brechung, gewöhnliche	562
.	182	— — Erklärung derselben	
ng	92	nach der Vibrations-	
barkeit durch Wärme	547; 589	theorie	620
er Körper	4	— — Erklärung nach der	
iger Körper	26	Emanationstheorie	621
örniger Körper	29	Brechung, doppelte	638
amkeit der Gase 17;	32	Brechungsexponent	566
ngscoefficient	114	Brechungsverhältnis	565
des Wassers	28	Brechungsgesetze	563
der Gase	28	Brechungsvermögen, specifisches	577
.	137	Bronnias	673
enley's allgemeiner	146	Brennlinie	569
.	231	Brennpunct	559; 583
	233	Brennspiegel	667
	631	C.	
B.			
r	118	Calorimeter	38
electrische	232	Camera lucida	567; 604
		Camera obscura	589

	Seite
Capillarität	106
Centrifugalkraft	83
Centrifugalkraft	84
Circularpolarisation	651
Coercitivkraft	193
Cohäsionskraft	14
Collectivglas	603
Combinationston	537
Compensationspendel	74
Complementäre Farben	573
Commutator	391; 430
Condensator electriccher	234
Conische Refraction	645
Contrastfarben	598
Contacttheorie	279
Constante Batterie	325
Cryophor	185

D.

Dampf	169
Dampfmaschine	177
Dämpfer	425
Decimalwaage	81
Deklination	196
Dehnungsquotient	466
Diamagnetismus	451
Diatherman	667
Diathermansie	612
Dichtigkeit	12
Differenzialthermometer	21; 376
Diffusion der Gase	157
Dioptrik	562
Dispersion des Lichtes	571
Drehwaage	475
Drehpunct des Auges	590
Duplicator	260
Dynamische Theorie	8

E.

Echo	524
Elasticität	15; 463
Elasticitätsgränze	464
Elasticitätscoefficient	466
Elasticitätsmodulus	466
Elastische Nachwirkung	465
Elastische Schwingungen	472; 479
Electricität	210
— gebundene	218
— vertheilte	220
— durch Reibung	223
— durch Berührung	259
— durch ausströmenden Dampf	258
— thierische	448

Electricität der Pflanzen	48
— — der Luft	251
Electricches Fluidum	211; 267
Electricche Kette, einfache	267
— — zusammengesetzte	269; 311
— — Galvanische	278
— — Becquerelsche	307
— — beständige	324
Electricche Säule	260
— — trockne	260
— — nasse	273
— — Volta'sche	279
— — Zambonische	279
Electricche Fische	103
Electriccher Muskelstrom	40
Electricche Differenz	265
Electricche Spannung	311
Electricche Spannungsreihe	265
Electricche Theorie	217
Electriccher Strom	261
Electricchirmaschine	218; 265
Electroden	263
Electrolyse, Electrolyt	314
Electrolytisches Gesetz	265
Electrochemische Theorie	260
Electrochemische Polarisation	316
Electrochemische Zersetzung	313
Electrochemisches Aequivalent	260
Electromagnet	263
Electromagnetismus	296; 320
Electromagnetische Rotation	400
Electromagnetische Telegraphie	405
Electrodynamik	410
Electrodynamometer	416
Electrometer	223; 260
Electromotor	262
Electromotorische Kraft	262
Electrophor	266
Electroscop	266
Electro-Thermometer	264
Emanationstheorie	600
Emissionstheorie	600
Endosmose	113
Erd-Magnetismus	196
Expansionskraft	14
Extracurrent	600

F.

Fallgesetze	4
Fallmaschine	46
Farben - Zerstreung	271
— — Bild	271
— — Kreisel	273
— — Ringe	284
Fernrohr	600
Festigkeit, absolute	15; 464; 468

	Seite		Seite
igkeit, rückwirkende	15 ; 470	Interferenz des Lichtes	611
- — relative	471	Irradiation	698
- — drehende	474		
erspritze	153	K.	
iren	112	Katoptrik	549
tgias	575	Kältemischungen	39
nklin'sche Tafel	230	Klangfiguren	517
unhofers'sche Linien	575	Körper	4
ke, electrischer . 213 ; 275 ; 368		Kraft	5
		Kraft des Menschen	56
G.		— des Pferdes	57
ilef'sches Fernrohr	608		
vanismus	277	L.	
vanisches Paar	314	Ladungssäule	320
vanometer	289	Lampenmikroskop	601
vanoplastik	329	Lane'sche Flasche	283
örorgan	543	Leidenfrost'scher Tropfen	182
etz	3	Leidner Flasche	232
ichtswinkel	518	Leitungsvermögen für Wärme	20
chwindigkeit	48	Leiter der Electricität	212
chwindigkeit des Falls	51	Leitfähigkeit der Metalle	284
— des ausströmenden Was-		Leitungswiderstand	342
sers	138	— — der Metalle	347
— der ausströmenden Gase	146	— — der Flüssigkeiten	350
— der Electricität	284	Lichtbilder	661
— des Lichtes	554	Lichtstrahl	546
— des Schalls	518	Loupe	600
richtsthermometer	30	Luftdruck	117
ichgewicht	45 ; 55	Luftelectricität	257
ichschwebende Temperatur	533	Luftpumpe	115
ivität	75	Luftschiffahrt	132
ndton	530	Luftströmungen	133
otrop	391	Luftthermometer	33 ; 127 ; 354
		Luftschwingungen, fortschreit-	
H.		tende	503
monie	530	— — stehende	526
el	58	Luftwellen	503
er	150		
ostat	557	M.	
onsball	117	Magnet	192
emessen mit dem Barometer	131	Magnetnadel	195
ispiegel	558	Magnetpole	194
rohr	525	Magnet - electriche Maschine	429
raulischer Druck	145	Magnetelectromotor	439
raulische Presse	154	Magnetisches Fluidum	206
rostatisches Grundgesetz	86	Magnetisches Magazin	201
rostatische Wage	95	Magnetische Vertheilung	200
rometer, Hygrometrie	186	Magnetismus, gebundner	203
othese	4	Magnetismus des Eisens	192
		Magnetisches Moment	303
I.		Magnetisiren	208
onderabilien	9	Magneto-Induction	422
ination	197	Magnetometer	297 ; 309
uction	419	— — mit bifilarer Auf-	
ucirter Nebenstrom	436	hängung	311
irferenz	492	Manometer	125

	Seite
Mariotte'sches Gesetz	123
Masse	263
Masse	12
Materie	5
Metacentrum	94
Metallthermometer	28
Mikrometer	604
Mikroskop, einfaches	602
zusammengesetztes	602
Molekularanziehung	14
Monochord	515
Multiplicator, electricischer	289
Musikalisches Intervall	532
Musikalisches Comma	532
N.	
Nachhall	524
Naturerscheinung	3
Naturlehre	3
Naturgesetz	4
Naturkraft	5
Nebenstrom	436
Nikol'sches Prisma	626
O.	
Ohm'sches Gesetz	342
Ohr	543
Optische Linsen	580
Optische Prismen	567
P.	
Parallelogramm der Kräfte	61
Pendel	71; 480
Passivität	321
Phase	481
Phosphorescenz	545
Photometer	551
Photometrie	553
Photographie	661
Piezometer	87
Polarisation der Lichtstrahlen	623
— — Erklärung	629
— — der Wärmestrahlen	673
Polarisirt, geradlinigt	627
— — elliptisch	629
— — kreisförmig	629
Polarisations - Ebene	625
Polarisations - Winkel	625; 630
Porosität	6
Procentenaräometer	99
Psychrometer	188
Pyroelectricität	378
Pyrometer	28
Q.	
Quecksilber - Thermometer	24; 183

R.	
Rauminhalt	1
Real'sche Presse	9
Reflexion des Lichtes	58
— totale	58
Reflexion der Wärmestrahlen	62
Reibungswiderstand	66
Reibungscoefficient	67
Refraction des Lichtes	57
Refraction der Wärmestrahlen	62
Resonanz	39
Reversionspendel	71
Rheostat	21
Restpendel	7
Rotations - Magnetismus	25
S.	
Sammellinse	60
Saccharimeter	60
Scalenaräometer	9
Schall	518
— — Reflexion	520
— — Beugung	521
— — Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft	518
— — in andern Gasen	520
Schallstrahl	519
Schallwellen	519
Schatten	519
Scheibler's Methode	520
Schiefe Ebene	6
Schmelzwärme	39
Schmelzpunkt	28
Schnellwage	6
Schwere	6
Schwerkraft	6
Schwerpunkt	6
Schwimmen	91
Schwingungen elastischer Körper	473
— — stehende	473
— — fortschreitende	473
— — longitudinale	473
— — transversale	473
Schwingungsknoten	473
Schwingungspunct	7
Schwingungsweite	7
Segner's Rad	94
Schweite, deutliche	94
Senkwage	94
Sieden	23; 168
Siedpuncte	23; 168
Sirene	513
Sinussussole	293
Sinussgesetz	293

	Seite		Seite
oid, electricches	392	V.	
ienmikroskop	601	Verdunstung	170; 184
ifisches Gewicht	12	Verdunstungskälte	185
— fester und flüssiger		Vibrationstheorie	611
Körper	95	Volta - Electrometer	332
— der Gase	129	Voltameter	332
— der Dämpfe	172	Volt'agometer	334
ifische Wärme	36	Volta - Induction	419
— der Atome	42	Volumen	4
— der Gase	87; 127; 529	Volumeter	97
ifische Elasticität	131	W.	
nkraft	18	Wage	76
nkraft der Dämpfe	164	Wärme, freie	40
trum	571	— — gebundene oder latente	41
gelbilder	556	— — spezifische	36
geltelescop	610	— — geleitete	20
chrohr	525	— — strahlende	662
dfähigkeit	61	Wärmecapazität	35
rheber	151	Wärmeeinheit	35
oscop	599	Wärmefarbe	672
morgan	542	Wärmestoff	18
— — — — —	54	Wärmestrahlung	20; 662
— — — — — elastischer Körper	476	Wasserpumpe	151
n - Regulator	334	Wellenbewegung	470
T.		Wellen des Wassers	455
gentenboussole	294	— — stehende	462
gentialkraft	83	Wellen elastischer Körper	470
peratur	19	Wellen durch Biegung gespann- ter Fäden	482
ipunct	187	Wellen durch Verdichtung und Dehnung	492
lbarkheit	7	Wellen in der Luft	503
rie	4	Wellen, ihr Uebertritt aus einem Mittel in das andere	508
mometer	24	Wellenrinne	457
moelectricität	369	Z.	
moelectrische Kette oder ule	371	Zug in den Oefen	148
momultiplier	374	Zerstreuungslinsen	586
moscop	21	Zungenpfeifen	536
heit	5; 43; 48	Zusammendrückbarkeit	6
heitsmoment	69	— — fester Körper	468
U.		— — tropfbarer Flüssig- keiten	87; 469
rehungspendel	73	— — der Gase	124; 168
ationstheorie	611		
rchdringlichkeit	4		

Im Verlage des Unterzeichneten sind erschienen und durch jede Buchhandlung zu beziehen:

Annalen der Chemie und Pharmacie. Herausgegeben von **Friedrich Wöhler, Justus Liebig und Hermann Kopp.** Jahrgang 1838 Nr. 1852. Jeder Jahrgang kostet Thlr. 7. oder R. 12R. 36 kr.

Bromm, Dr. H. G., gedrängte Anleitung zum Sammeln, Zubereiten und Verpacken von Thieren, Pflanzen und Mineralien für naturhistorische Museen, bearbeitet für reisende und fernländische Sammler. 12. 1838. geh. 11/2 oder 36 kr.

Delitz, Dr. Wilh., stöchiometrischer Commentar zur Rhamncopaea Badensis. 7 1/2 Ngr. oder 27 kr.

Dierbach, J. H., (Professor der Med. an der Universität Heidelberg) *Cofus medicamentarius Germanorum, oder Versuch einer systematischen Uebersicht der in den jetzt gesetzlich eingeführten Pharmacepöen Deutschlands eingeführten Arzneimittel.* 8. 1845. geh. Thlr. 1. 22 1/2 Ngr. oder R. 3.

Frank, J. C., Rastadt's Flora. 1830. 8. geh. 22 1/2 Ngr. oder R. 1. 24 kr.

Fresenius, Dr. H. und Will, Dr. F., Neue Verfahrungsweisen zur Prüfung der Pottasche und Soda, der Ischen, der Säuren, insbesondere des Effigs, und des Braunsteins, auf ihren wahren Gehalt und Handelswerth. 8. 1843. geh. 26 Ngr. oder fl. 1. 80 kr.

Geiger, Ph. L., Handbuch der Pharmacie zum Gebrauche bei Vorlesungen und zum Selbstunterrichte für Aerzte, Apotheker und Droguisten. I. Band: Pharmacie und deren Hilfswissenschaften. A. u. d. T.: Handbuch der Chemie mit Rücksicht auf Pharmacie. Fünfte Auflage, neu bearbeitet von **Dr. Just. Liebig.** Mit Kupfertafeln und Holzschnitten. Mit grossherzoglich Badischem Privilegium gegen Nachdruck und Nachdruckverkauf. gr. 8. 1844. geh. Thlr. 7. 10 Ngr. oder fl. 13. 12 kr.

— — Handbuch der Pharmacie II. Band, enthaltend die pharmaceut. Mineralogie, Botanik und Zoologie. Zweite Auflage, neu bearbeitet von **Dr. Fr. L. Nees von Esenbeck, Dr. J. H. Dierbach und Dr. Clamor Marquart.** Mit einem Generalregister. gr. 8. 1840. Thlr. 11. 20 Ngr. oder fl. 21.

Daraus einzeln:

I. Abtheilung. A. u. d. T.: Pharmaceutische Mineralogie, zweite Aufl., neu bearbeitet von **Dr. Clamor Marquart.** Mit 2 Holzschnitten. Tafeln. gr. 8. 1838. geh. Thlr. 2. oder fl. 3. 36 kr.

- II. Abtheilung in 2 Hälften. A. u. d. T.: Pharmaceutische Botanik, zweite Auflage, neu bearbeitet von Dr. Th. Fr. L. Nees von Esenbeck und Dr. J. H. Dierbach. gr. 8. 1839—40. geh.
 Erste Hälfte Thlr. 5. oder fl. 9.
 Zweite Hälfte Thlr. 4. oder fl. 7. 12 kr.
- Geiger, Ph. L.**, Handbuch der Pharmacie. II. Band, zweite Auflage. Ergänzungsheft zur Pharmaceutischen Botanik. gr. 8. 1843. geh. Thlr. 1. 20 Ngr. oder fl. 3.
- NB. Das complete Werk, also Band I und II mit Register und Ergänzungsheft kostet Thlr. 20. 20 Ngr. oder fl. 37. 12 kr.
- Hofmann, J. W.**, das chemische Laboratorium der Ludwigs-Universität zu Gießen, nebst einem Wort von Dr. August Liebig. gr. 8. 1842. geh. Mit 1 Kupferst. in Fol., enthaltend eine äußere und innere Ansicht nebst 6 Blättern erläuternder Risse und Detailzeichnungen. Thlr. 3. oder fl. 5. 24 fr.
- Liebig, Prof. Dr. Justus**, organische Chemie. (Besonderer Abdruck aus Geigers Handbuch der Pharmacie. I. Band. 5. Aufl.) gr. 8. 1843. geh. Thlr. 4. 5 Ngr. oder fl. 7. 30 kr.
- Bemerkungen über das Verhältniß der Thier-Chemie zur Thier-Physiologie. gr. 8. 1844. geh. 10 Ngr. oder 36 kr.
- chemische Untersuchung über das Fleisch und seine Zubereitung zum Nahrungsmittel. gr. 8. 1847. geh. 25 Ngr. oder fl. 1. 30 kr.
- chemische Briefe. Dritte Auflage. 8. 1851. geh. Thlr. 2. 24 Ngr. oder fl. 4. 48 fr.
- Märklin**, Betrachtungen über die Urformen der niedern Organismen. 8. 1823. geh. 17 Ngr. od. fl. 1.
- Müller, D. J.**, Professor in Utrecht, Versuch einer allgemeinen physiologischen Chemie. Aus dem Holländischen übersetzt von Dr. Jac. Moleschott, Docenten der Physiologie in Heidelberg. 1—8. Lieferung. gr. 8. geh. Thlr. 2. 22 Ngr. oder fl. 4. 54 kr.
- Pharmacopoea universalis**. Inchoavit Phil. Laur. Geiger, continuavit et absolvit Fried. Mohr. Pars I, II et Index alphabeticus. Lexicon Format. 1835—1845. geh. Thlr. 11. 15 Ngr. oder fl. 20. 42 kr.
- Pharmacopoea Badensis**. roy. 8. 1811. geh. Thlr. 2. 20 Ngr. oder fl. 4. 48 kr.
- Rosset, Dr. Leo**, Tabellarische Uebersicht der qualitativen chemischen Analyse. Zum Gebrauche bei den praktischen Arbeiten im Laboratorium. In 3 Tafeln in Umschlag. 1845. 7½ Ngr. oder 27 kr.
- Die analytische Chemie, tabellarisch dargestellt. Folio. 1846. geh. Thlr. 1. 10 Ngr. oder fl. 2. 20 kr.

Scherer, Dr. u. Prof. J. J. in Würzburg, **Chemische und mikroskopische Untersuchungen zur Pathologie, angestellt an den Kliniken des Julius Hospitalen zu Würzburg.** gr. 8. geh. Thlr. 1. 7½ Ngr. oder fl. 2. 15 kr.

Soubeyran, E., **Handbuch der pharmaceutischen Praxis, oder ausführliche Darstellung der pharmaceutischen Operationen; sammt den ausgewertesten Beispielen ihrer Anwendung, der Zubereitung und Benutzung der Arzneimittel, nebst den besten und verbreitetsten Formeln ihrer Dispensirung.** Deutsch bearbeitet von Fr. Schödler, durch handschriftlich mitgetheilte Zusätze und Verbesserungen von Soubeyran vermehrt. 5 Lieferungen jezt ein Band in gr. 8. 1839. geh. Thlr. 4. 5 Ngr. oder fl. 7. 30 kr.

Will, Dr. H., **Anleitung zur chemischen Analyse, zum Gebrauche im chemischen Laboratorium zu Giessen.** Zweite Auflage. g. kl. geheftet Thlr. 1. 8 Sgr. oder fl. 2. 12 kr.

— **Tafeln zur qualitativen chemischen Analyse.** Zweite Auflage. gr. 8. gebunden. 16 Sgr. oder 54 kr.

Academische Verlagshandlung

von

C. F. Winter in Heidelberg.





•
•
•

